

Útépítési bitumen és visszanyert bitumen elegyének dinamikai viszkozitás számítása és előrebecslési lehetősége

A bitumenekre külföldön kidolgozott viszkozitás-keverési képletek bemutatása, valamint ezek hazai alkalmazhatóságának vizsgálata – néhány útépítési bitumen, visszanyert bitumenelegye dinamikus nyíróreométerrel mért dinamikai viszkozitások eredményei alapján – hasznos szakmai lehetőség.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.2>

Rosta Szabolcs¹ – dr. habil. Gáspár László²

¹Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola PhD hallgatója,
a Duna Csoport innovációs főmérnöke

²Kutató professzor, KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.;
professzor emeritus, Széchenyi István Egyetem, Győr
e-mail: gaspar@kti.hu, rosta.szabolcs01@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A nemzetközi szakirodalom az egyes anyagkeverékek viszkozitására számos elméletet és számítási képletet ismertet, hangsúlyozva, hogy a viszkozitás (pl. a tömeggel ellentétben) nem additív mennyiség. Folyadék fázisú anyagok keverékeinek viszkozitására vonatkozó számítási képleteket már az 1800-as évektől alkalmaznak [2], [6].

Az iparban az olajgyártás területén kaptak nagy figyelmet ezek az elméletek. A nyersolajok megnövekedett termelésével és felhasználásával olyan fizikai tulajdonságaik váltak kifejezetten fontossá, mint például a viszkozitás és a sűrűség. A felhasználni kívánt olajok ezen paramétereinek, a csővezetéseken történő

szállíthatóság érdekében, megfelelő értékekkel kell rendelkezniük. Az olaj nem megfelelő viszkozitását valamilyen adalékszerrel módosítani kell; ez utóbbi adagolási arányának megállapításához a viszkozitás változását reálisan leíró számítási módszerre van szükség. Az erre a célra kifejlesztett képletek alkalmazhatóságát különböző olajok esetében vizsgálták [3], [4], [5], [8].

A következőkben a szakirodalomban megtalálható, a bitumenekre kidolgozott viszkozitás keverési képleteket mutatjuk be, valamint ezek alkalmazhatóságával kapcsolatos, hazánkban elérhető útépítési bitumenek és RA-ból (bontott anyag) visszanyert bitumenek keverékeivel folytatott kutatásunk néhány eredményét ismertetjük.

2. SZAKIRODALMI SZEMLE

2.1. Bitumenek viszkozitás keverési képletei

Centeno és társai 26 viszkozitás keverékképletet gyűjtöttek össze [7], majd ezeket kategorizálták, és különböző olajkeverékeken vizsgálták megfelelőségüket. Kategóriákat jelöltek ki egyszerű keverési szabályokra, viszkozitáskeverési indexet alkalmazó keverési szabályokra, matematikai módszerekkel meghatározott extra paraméterekkel kiegészített keverési szabályokra, bináris kölcsönhatást feltételező keverési szabályokra és további függvénnyel kiegészített keverési szabályokra. Mivel ez utóbbi három elméletitípus a szükséges paraméterek meghatározásához és a számítások elvégzéséhez a viszkozitás meghatározásán túl egyéb vizsgálatot is igényel, a bitumenek reológiai tulajdonságainak vizsgálatakor ezen elméletek háttérbe szorulnak. Az egyszerűbb viszkozitáskeverési szabályok közül néhányat a bitumenek tulajdonságainak kutatásakor is tanulmányoztak, majd a bitumen iparban is megjelentek, tanulmányokként és előírásokként [17], [26], [32], [33].

A viszkozitás keverési szabályok alkalmazása főként az USA-ban és Ausztráliában terjedt el, és leginkább útépitési bitumen, SBS modifikált bitumen, RA-ból visszanyert bitumen és rejuvenáló szer alkotta elegyek viszkozitásának meghatározására szolgálnak. A bitumenek esetében a legnagyobb különbség, hogy nem csak a magas – aszfaltkeverékek-nél 135-165 °C-os, keverési és tömörítési – hőmérsékleten alkalmazzák a számítási modelleket [10], ahol a kötőanyagok (friss bitumen vagy RA bitumen) newtoni folyadékhhoz hasonló tulajdonságokkal bírnak, hanem az aszfaltkeverékek-nél szokványosan megállapított melegviselkedési (45-60 °C-os) hőmérsékleti tartományban is. Itt a kötőanyagokat (friss bitumen vagy RA bitumen) viszkoelasztikus, a rejuvenáló (fiatalító) szereket pedig newtoni folyadékhhoz hasonló tulajdonságok jellemzik [26].

Az első viszkozitáskeverési képletek megjelenése óta az eszközpark és a műszerek is fejlődtek és változtak. Ma már a dinamikus

viszkózítás meghatározásához, kapilláris viszkóziméterek helyett, a kisebb anyagigényű és egyszerűbben tisztítható, dinamikus nyíróreométer (DSR) használható. A mérés kivitelezéséből adódó eltérések meghatározására korábban már végeztek összeméréseket [27], amelyeknek alapján elmondható, hogy a különböző méréstípusok eredményei korrelálnak, a DSR-rel kapott adatok ismételhetősége és reprodukálhatósága pedig jobbnak bizonyult.

2.2. Bitumenviszkozításon alapuló számítás [32]

Az aszfaltkeverék teljesítményének veszélyeztetése nélkül történő nagy mennyiségű RA felhasználásához az anyagjellemzés, a tervezési módszertan, valamint a gyártási és az építési gyakorlat fejlesztése mellett, egyértelmű keveréktervezési irányelveket és szabályozásokat is kell kifejleszteni.

Az ausztrál szabályozásba bekerült viszkozításszámítási módszer kidolgozása hároméves kutatás eredményein alapul, amelynek célja az volt, hogy az RA tartalmú aszfaltkeverékek tervezéséhez és specifikációihoz útmutatóként szolgáljon, valamint az RA-val tervezett és gyártott aszfaltkeverékek teljesítményével kapcsolatos bizonytalanságot csökkentse [27], [28], [29].

A kutatási program első évében a visszanyert aszfalt kötőanyagának jellemzési módszertanát, illetve a friss bitumen és a visszanyert aszfaltban lévő bitumen elegyének magas hőmérsékletű viszkozításszámítási eljárását és vizsgálati metodikáját dolgozták ki [27]. Ennek eredménye az AGPT/T192 2015 vizsgálati útmutató és az AGPT/T193 2015 számítási módszer ausztrál előírás.

Ausztráliában az útépitési bitumeneket 60 °C-os viszkozitási jellemzőik alapján [34] sorolják típusokba [35]. Emellett jellemző paraméterként a 45 °C-on mért viszkozitást [36] is megadják. A kutatás rámutatott, hogy a DSR-rel lehetséges olyan viszkozitásméréseket végrehajtani, amely alternatívája lehet a „Shell sliding plate” tesztnek, illetve a 4 °C-on mért

viszkozitás és a 60 °C-os kapilláris viszkozitás vizsgálatnak. A DSR eredmények a „Shell sliding plate” teszt eredményeinél azonban alacsonyabbaknak adódnak.

2.3. Chevron-egyenlet használata, az AGPT/T193 szabvány szerint [31], [32]

Megállapították, hogy a 15%-os RA tartalom alatt a visszanyert aszfaltban lévő bitumen kötőanyag-keverékre gyakorolt hatása általában elhanyagolható. Ez azonban a visszanyert aszfalt kötőanyag-tartalmától, annak viszkozitásától és a tervezett keverék kötőanyag-tartalmától nagymértékben függ. 15%-os visszanyert aszfalt tartalom alatt a kötőanyag jellemzése csak kivételes esetekben (pl. visszanyert aszfalt utánpótlás tervezésekor, keverőtelepi üzemeltetés kockázatértékelésekor) szükséges [27].

15%-osnál nagyobb RA tartalmú aszfaltkeverékek esetében azonban minden esetben javasolt a kötőanyag-keverék (az RA-ban lévő kötőanyag, az új/friss kötőanyag és opcionálisan alkalmazott egyéb rejuvenáló szer elegye) tulajdonságainak jellemzése, ugyanis ezáltal biztosítható a megfelelő fokozatú, friss bitumen kiválasztása.

Egy kötőanyag-keverék tulajdonságait úgy lehet megbecsülni, hogy az egyes kötőanyagok tulajdonságait, keverési egyenlet segítségével, megfelelő arányban kombinálják. A visszanyert aszfalt kötőanyagának és/vagy a visszanyert aszfalt kötőanyagát és új kötőanyagot tartalmazó keveréknek a viszkozitása az AGPT/T192 vizsgálati útmutató alapján határozható meg [31]. Az RA-ból visszanyert kötőanyag viszkozitása az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezésénél igen fontos paraméter, amely dinamikus nyíróreométerrel mérhető.

Egy DSR-mérés során két párhuzamos kör alakú lemez közé helyezett, előírt átmérőjű, korong alakú bitumenmintát oszcillációs terhelés mellett, előre beállított feszültség szinten nyírtnak. A viszkozitást oszcillációs terhelési ciklusok és a következő paraméterek mellett határozzák meg: 60 °C-os hőmérséklet, 1 rad/s nyírási frekvencia és 0,1 alakváltozás amplitúdó.

A ciklusok során rögzített csúcserőt (nyomatékot), csúcscsúszást és a két csúcstérték közötti időkülönbséget használják fel a komplex viszkozitás (η^*), valamint, szükség esetén, a komplex nyírási modulus, a fázisszög és egyéb reológiai paraméterek kiszámításához.

A kötőanyagok vagy -keverékek viszkozitása 60 °C-on, a következő lépésekben határozható meg [31]:

- kötőanyag visszanyerése (ha szükséges) az AGPT/T191 szabvány vagy más elfogadott eljárás szerint,
- a dinamikus nyíróreométer előkészítése a vizsgálatához, temperálás 60 °C-on,
- a bitumenminta fűtése önthetőségig és keverhetőségig,
- kb. 0,8 g-nyi minta szilikonsablonba öntése, legfeljebb két órával a mérés előtt,
- a sablon eltávolítása, a bitumenminta a reométer alsó lemezére helyezése,
- a felső lemez helyzetének beállítása, 1,05 mm-re az alsó lemeztől (a bitumenfelesleg kipréselődik),
- a két lemez közötti tér bitumennel való teljes kitöltöttségének ellenőrzése,
- a két lemez közötti rés kerületéről, a ki nyomódott bitumenfelesleg megfelelő vágószerszámmal való eltávolítása,
- a két lemez közötti réstávolság 1,00 mm-esre csökkentése,
- a vizsgálati minta 15 ± 5 percig történő kondicionálása ($60,0 \pm 0,1$) °C-on,
- a vizsgálati program beállítása a készüléken (1 rad/s oszcillációs frekvencia, 60 °C),
- 10 oszcillációs előterhelési ciklus, majd 10 oszcillációs mérési ciklus végrehajtása,
- a mérési ciklusok során mért komplex viszkozitás rögzítése Pa-s-ban, átlaguk kiszámítása,
- a mérés másik mintán való megismétlése.

A két párhuzamos mérés során, 10-10 ciklus átlagaként meghatározott komplex viszkozítások átlaga a vizsgált bitumen 6 °C-on érvényes, komplex viszkozitás értéke.

Az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezésénél/gyártásánál fontos – az alkotó kötőanyagok viszkozitásának ismeretében – a létrejövő kötőanyag-keverék viszkozitásának becslése. Az AGPT/T193 szabvány szerinti számítási módszer lehetőséget ad a kötőanyag-keverék viszkozitásának becslésére, valamint azok korrekciójára abban az esetben, ha a kötőanyagok keverékének viszkozitása a megadott határértékeken kívül esik. Az AGPT/T193 szabvány erre a célra a Chevron-egyenletként ismert, kötőanyag-keverési egyenletet (*blending equation*) használja. Ez a visszanyert aszfaltban lévő kötőanyagból, új kötőanyagból és/vagy rejuvenáló szerből álló keverék célzott viszkozitásig történő megtervezéséhez alapul szolgál. Opcionálisan, a megfelelően bizonyult kötőanyagkeverék viszkozitása az alkotóelemek laboratóriumi összekeverésével és a keverék viszkozitásának meghatározásával [31] validálható.

A kötőanyag-keverék várható viszkozitását a következő egyenletekkel számítják:

$$VBI_i = \frac{3 + \log \vartheta_i}{6 + \log \vartheta_i}$$

$$VBI_\beta = \sum_{i=1}^n x_i \cdot VBI_i$$

$$\mu = 10^{\left(\frac{3VBI_\beta}{1-VBI_\beta} - 3 \right)}$$

ahol,

- ϑ_i – az i -edik komponens viszkozitása (Pa·s),
- VBI_i – az i -edik komponens viszkozitás elegy indexe,
- VBI_β – a teljes bitumen keverék viszkozitás elegy indexe,
- x_i – az i -edik komponens térfogati hányada,
- μ – a teljes bitumenkeverék viszkozitása (Pa·s).

A három képlet egyesítve, egy alakban felírva:

$$\mu = 10^{\left(\frac{3 \left(x_1 \cdot \frac{3 + \log \vartheta_1}{6 + \log \vartheta_1} + x_2 \cdot \frac{3 + \log \vartheta_2}{6 + \log \vartheta_2} \right)}{1 - \left(x_1 \cdot \frac{3 + \log \vartheta_1}{6 + \log \vartheta_1} + x_2 \cdot \frac{3 + \log \vartheta_2}{6 + \log \vartheta_2} \right)} - 3 \right)}$$

A Chevron-képletet eddig csak viszkozitás alapon típusokba sorolt, útépitési bitumenekre validálták [27], az európai gyakorlatban használt, penetrációs alapon szabványosított, útépitési bitumeneken erre még nem került sor.

A bitumenelegyeknek az ausztrál laboratóriumi gyakorlatban történő validálása azzal a nehézséggel került szembe, hogy az AGPT/T191 szabvány szerinti visszanyerési eljárással csak nagyon kis mennyiségű bitumen nyerhető vissza egyszerre, és ezeknek a friss bitumenel való arányos elegyítése fizikai akadályokba ütközne [30]. Azonban az Európában használt EN 12697-3 szabvány szerinti forgó bepárlós eljárással egyszerre akár 50-150 g-nyi kötőanyag visszanyerhető [21]. Ez már különböző összetételű, homogén bitumenelegyek előállításához elegendő mennyiség.

2.4. Austroads 2006 egyenlet

Ausztráliában, az AGPT/T193, 2015 vizsgálati útmutató hatályba lépése előtt a RA bitumen és friss bitumen elegyek, illetve rejuvenáló szerek elegyeinek jellemzésére az Austroads Report AP-T66/06 [26] az 1. táblázatban bemutatott követelményeket fogalmazta meg.

1. táblázat: RA bitument tartalmazó elegyekkel szembeni követelmények [26], [27]

Tulajdonság	Követelmény	
	min.	max.
Penetráció 25°C-on, 0,1 mm	35	-
Viszkozitás 60°C-on, Pa·s	350	900
Viszkozitás 45°C-on (erős forgalom), V_e , log Pa·s	-	4.5 V_e
Viszkozitás 45°C-on (gyenge forgalom), V_{gy} , log Pa·s	-	4.2 V_{gy}
Lágyuláspont, °C	52	56

A kötőanyagtípusok tömegaránya a következő összefüggésből számítható:

$$r = \frac{\log(V + 3) - \log(T + 3)}{\log(V + 3) - \log(R + 3)}$$

ahol:

- r – a keverékben lévő teljes kötőanyag (rejuvenáló szer vagy friss bitumen) tömegaránya,
- R, T, V – viszkozitások logaritmusai (log Pa·s) 45 °C vagy 60 °C hőmérsékleten,
- R – rejuvenáló szer vagy friss bitumen viszkozitásának logaritmus,
- T – végső termék célviszkozitásának logaritmus,
- V – RA-ból visszanyert bitumen viszkozitásának logaritmus.

A képlet valószínűleg Epps et al. munkáján alapszik [11], amelyben a viszkozitás eredeti mértékegysége – az amerikai egységrendszer szerint – centipoise-ban volt. A számítási képletben lévő három viszkozitást az ausztrál gyakorlat korai szakaszában történő alkalmazásakor az SI-rendszernek megfelelően, centipoise-ról Pascal-szekundumra (Pa·s-ra) váltották át. (Emiatt szerepelnek a „+ 3” értékek a képletben). A képlet az 1997-es verziójú Asphalt Recycling Guide-ban is megtalálható, itt azonban hibás képletet szerepeltettek, amit később a fent bemutatott képletre javítottak [15], [16], [27].

2.5. Visszanyert aszfaltból származó bitumen viszkozitásának jellemzése az USA-ban, a Superpave előtti időszakban

Az Amerikai Egyesült Államokban a PG típusú bitumen jellemzési rendszert a Strategic Highway Research Program (SHRP) keretén belül 1988-1992-ben fejlesztették ki [14]. Ennek lényege az, hogy a bitumennel szemben felállított követelményeket nem a bitumen típusa, hanem a felhasználási körülmények által támasztott igények határozzák meg. A viselkedési fokozatok tulajdonképpen a felhasználási körülmények hőmérséklet-határokkal történő megfogalmazásai. Korábban az USA-ban penetrációs fokozatú és viszkozitás alapú bitumenosztályozási rendszer is volt érvényben. Az Asphalt Institute ebben az időszakban a RAP kötőanyag és a friss bitumen kívánt viszkozítású keverékeinek létrehozására, keverési

diagramok segítségével módszertant jelentett meg [1]; ez az elmélet az ASTM D4887-99 számú szabvány formájában is megjelent az USA-ban [33].

A képlet eredete Arrhenius nevéhez köthető, aki a vízben oldott anyagok disszociációjáról értekezett, és a víz viszkozitását mérte, különböző vízben oldható anyagok esetében [2]. Az Asphalt Institute modellje a keverék viszkozitásának logaritmus és a különböző kötőanyagok tömegaránya között lineáris összefüggést tételez fel. Ez a megközelítés hasonló az Austroads újrahasznosítási útmutatóban javasolt módszertanhoz [26], azzal a különbséggel, hogy ez utóbbi kettős log skálát használ, az ASTM egyszeres log skála helyett. Az Asphalt Institute megközelítése magában foglalja a különböző kötőanyagok viszkozitása között, az egyenletben bemutatott log lineáris összefüggést:

$$a \log \eta_1 + b \log \eta_2 = (a + b) \log \eta_{\text{mix}}$$

ahol:

- a és b – a keverékben lévő kötőanyagok tömegaránya, ($a + b = 1$),
- η_1 – az 1-es kötőanyag viszkozitása (Pa·s),
- η_2 – a 2-es kötőanyag viszkozitása (Pa·s).

2.6. Kendall és Monroe által kidolgozott összefüggés [13]

Bitumenelegyek és bitumen-rejuvenátor elegyek viszkozitásának meghatározására szolgálhat a Kendall és Monroe által kifejlesztett következő képlet:

$$\mu^{1/3} = w_A \mu_A^{1/3} + w_B \mu_B^{1/3}$$

ahol:

- μ – a keverék viszkozitása,
- μ_A – az A komponens viszkozitása (cP),
- μ_B – a B komponens viszkozitása (cP),
- w_A – az A komponens tömegaránya,
- w_B – a B komponens tömegaránya.

Az összefüggést eredetileg Kendall és Monroe folyadék fázisú, nagyon alacsony viszkozitású anyagokra állapította meg, mikor arra keresték a választ, hogy a keverékek viszkozitását milyen ideális görbe írja le [13]. Egy újabb kutatás [10] a 135 °C-os bedolgozási és a 165 °C-os keverési hőmérsékleten vizsgált útépítési bitumenek (PG 58-28) és RA bitumenek, illetve rejuvenáló szer elegyekre irányult, ahol, rotációs viszkoziméterrel mért eredmények alapján, a Kendall-Monroe és a Chevron egyenletek közötti korrelációt vizsgálták. A nyírási sebesség változtatásával és a Cross-modell használatával megállapításra került, hogy a nyírási sebesség növelésével a viszkozitások csökkennek. A PG 58-28 típusú bitumen és RA bitumen elegyek esetében, a két vizsgálati hőmérsékleten, a keverék viszkozitására mindkét modell meglehetősen pontos becslést adott, a Chevron-modell valamivel jobbnak bizonyult.

2.7. Az empirikus bitumentulajdonságon alapuló számítás

A legtöbb európai ország szabályozási rendszerében, a visszanyert aszfalt kötőanyagának jellemzésére, a közepes és a magas hőmérsékletű konzisztencia osztályokat használják. Az EN 13108-8:2016 szabványban foglaltak szerint, a visszanyert aszfalt kötőanyagát legalább az egyik tulajdonsággal kell jellemezni [22].

A visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékekben lévő kötőanyag penetrációja, valamint lágyuláspontja a következő képlettel számítható:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix}$$

$$a \times T_{R\&B\ 1} + b \times T_{R\&B\ 2} = T_{R\&B\ mix}$$

ahol:

- pen_{mix} – a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverék kötőanyagának számított penetrációja,
- pen_1 – a visszanyert aszfaltból kinyert kötőanyag penetrációja,
- pen_2 – a hozzáadott kötőanyag penetrációja,

- $T_{R\&B\ mix}$ – a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverék kötőanyagának számított lágyuláspontja,
- $T_{R\&B\ 1}$ – a visszanyert aszfaltból kinyert kötőanyag lágyuláspontja,
- $T_{R\&B\ 2}$ – a hozzáadott kötőanyag lágyuláspontja,
- a és b – a visszanyert aszfaltból származó kötőanyag tömegaránya a , és a hozzáadott bitumen tömegaránya b , a keverék teljes kötőanyagának arányában; ($a + b = 1$).

Az európai, nemzeti szabályozásokban, a visszanyert aszfalt kötőanyagára minimális penetrációs értéket vagy maximális lágyuláspont értéket írnak elő, az anyag felhasználhatóságának korlátaiként. Az EN 13108-8 szabvány egy-egy típust (P_{15} vagy S_{70}) kiemeli, de más kategóriák alkalmazására is (P_{dec} vagy S_{dec}) lehetőséget teremt. A szabvány szerint definiált S_{70} kategóriában az egyes kötőanyagminták lágyuláspontja legfeljebb 77 °C, az összes minta lágyuláspontjának átlaga pedig legfeljebb 70 °C lehet. A legkisebb penetráció értéket definiáló kategória a P_{15} , ami azt jelenti, hogy a kötőanyag minták penetrációjának legalább 10 tizedmilliméternek, míg az összes minta penetráció-átlagának legalább 15 tizedmilliméternek kell lennie. Az európai előírás továbbá megfogalmazza, hogy kopórétegek esetében 10%-os RA adagolásig, alap- és kötőrétegeknél pedig 20%-os RA adagolásig, az RA kötőanyag jellemző vizsgálatát elegendő egyetlen mintán végezni, a felhasználni kívánt, homogén, visszanyert aszfalt mennyiségétől függetlenül [22].

Az általános tendenciát kiegészítve, egyes országok a helyi viszonyoknak megfelelő, specifikus követelményeket szabnak [25]. A szabályozás megengedi a penetráció figyelembevételét, azonban Németországban az EN szabvány szerinti, lágyuláspont alapú számítás az általános gyakorlat: az S_{70} kategóriában az 500 tonnánként vett minta átlagos lágyuláspontja legfeljebb 70 °C-ot érhet el [24]. Ezzel szemben Franciaországban a visszanyert aszfalt 500 vagy 1000 tonnánként vett mintáin a lágyuláspont mellett, a penetráció értékét is vizsgálják [9]. Az egyes

2. táblázat: Penetráció és lágyuláspont határértékek egyes európai országokban [25]

Ország	B	CZ	F	D	IRL	PL	P	SLO	UK
Penetráció (0,1 mm)	>10	>10	>5	>15	>15	>15	>15	-	>15
Lágyuláspont (°C)	-	<77	<77	<70	-	<70	<70	<70	-

paramétereknél a határértékek tűréshatára itt nagyobb, mint a szabványos kategóriáké (2. táblázat).

Általános eljárás, hogy ha a kötőanyag-keverék lágyuláspontja vagy penetrációja a bemutatott képletek szerint számítva a célzott értékhez képest keményebb bitumenkategóriába kerülne, akkor a keverék készítéséhez egy lágyabb kategóriába sorolt bitumentípus választható. Ezáltal biztosítják azt, hogy az aszfaltkeverék kötőanyagának tulajdonságai, magas visszanyert aszfalt tartalom mellett is, az előírt határértékeknek megfelelőek lehessenek.

2.8. A kötőanyag-keverék viszkozitásának DSR alapú számítási lehetősége

Az európai gyakorlatban is ismert az útépitési bitumenek viszkozitásuk alapján történő osztályba sorolása. Az EN 12591 szabvány, amely az útépitési bitumenek minőségi követelményeit foglalja össze, az útépitési bitumenekre vonatkozó választható, jellemző paraméterként kezeli a viszkozitást [19]. Ha a dinamikus viszkozitás az adott ország helyi követelményeinek része, az EN 12596 szabvány szerint, 60 °C-on, vákuumkapilláris módszerrel kell meghatározni [20]. A magyar nemzeti követelményekben azonban teljesítmény paraméterként nem szerepel a dinamikus viszkozitás útépitési bitumenek esetében [23].

Hazánkban a visszanyert aszfaltot tartalmazó keverékek tervezése kapcsán, a kötőanyag-elegyek tervezéséhez nincs érvényben viszkozitás számítási módszer. Ennek a legfőbb oka, hogy a kapilláris viszkoziméterben a nyírási sebesség nem állandó, bitumenforrásonként és kötőanyag-osztályonként eltérő. A nyírási sebesség a különböző forrású visszanyert aszfalt kötőanyagoként és az ebből készülő bitumenkeverékeként is különbözik.

A dinamikus viszkozitás 60 °C-on dinamikus nyíróreométerrel is meghatározható. A friss kötőanyag nyírási sebessége a DSR-ben reprodukálható, azonban – a visszanyert aszfalt bitumenjének adagolási arányától függően – folyamatosan változtatni kellene azt. Ez azonban lehetetlen, mivel a kapilláris viszkozitás vizsgálat elvégzése nélkül a keverékeknek a nyírási sebesség nem lenne ismert; így ilyen körülmények között csak DSR-rel történő méréssel a dinamikus viszkozitás nem lenne meghatározható. Továbbá a kapilláris viszkoziméter magasabb viszkozitás tartományban (alacsonyabb funkcionális hőmérsékleteken), – amely a RA kötőanyagára gyakran jellemző – nem képes megbízható eredményt szolgáltatni. A felmerült problémára és a DSR alkalmazhatóságára megoldást jelent, ha nem reprodukálni próbáljuk a kapilláris viszkoziméterben végzett mérést egy másik készüléken (a DSR-rel), hanem egy azzal egyenértékű mérési módszert alkalmazunk. Amennyiben konstans 1 rad/s-os nyírási sebességet alkalmazunk a DSR mérés során, a kapilláris viszkoziméteres méréshez hasonló eredményeket kapunk, egy ismételhetőbb, költséghatékonyabb mérés során [27].

3. HAZAI KUTATÁSI MUNKA AZ RA-TARTALMÚ KÖTŐANYAG-ELEGYEK VISZKOZITÁSSZÁMÍTÁSÁRA

3.1. Viszkozitás előrebecslő képletek összehasonlítása

A kutatás első lépéseként a viszkozitás meghatározására szolgáló, a szakirodalmi részben bemutatott tapasztalati képleteket hasonlítottuk össze. Ezeknek a képleteknek a használhatóságát főleg a kötőanyag-elegyekben szereplő összetevők kiindulási viszkozitásának mértéke határozza meg. Az is fontos befolyásoló

3. táblázat: Egyes, Európában elérhető bitumen rejuvenáló szerek dinamikus viszkozitása

Rejuvenáló szer származási helye		D			I	NL	UK
Dinamikus viszkozitás	(Pa·s)	0,034-0,035	0,036	0,031-0,040	0,046-0,141	0,031	0,062
	(cP)	34-35	36	31-40	46-141	1000-3000	62
Mérési hőmérséklet		40°C	nem ismert	nem ismert	30°C	25°C	25°C

4. táblázat: Hazánkban elérhető útépitési bitumenek DSR-rel mért komplex viszkozitása

Útépitési bitumen		B 20/30	B 35/50	B 50/70 (1)	B 50/70 (2)	B 70/100 (1)	B 70/100 (2)	B 100/150
Komplex viszkozitás (Pa·s, 60 °C, 1 rad/s)	Átlag	2 445	517	261	305	129	164	93
	Terjedelem	814	133	16	45	21	24	6
	Szórás	361,6	54,8	5,13	16,1	9,95	10	2,71
	Variációs együttható	0,15	0,11	0,02	0,05	0,08	0,06	0,03
	Mérések száma	3	3	7	5	4	3	3

*Jelmagyarázat: az (1) és a (2) különböző gyártót jelöl.

tényező, hogy milyen mértékű a visszanyert aszfalt bitumenjének előregedése, és az is, hogy tartalmaz-e az elegy alacsony viszkozitású rejuvenáló (fiatalító) szert [12]. A 3. táblázat egyes európai országokban alkalmazott rejuvenáló szerek dinamikus viszkozitás tartományáról tájékoztat.

A 4. táblázat egyes hazánkban elérhető, útépitési bitumenek DSR-rel mért, átlagos komplex viszkozitását szemlélteti.

A képletek között nagyobb eltérés akkor tapasztalható, hogyha az elegyek között alacsony viszkozitású rejuvenáló szert is alkalmaznak. Útépitési bitumen, illet-

ve RA bitumen elegyítésekor a vizsgált egyenletek között csupán kisebb különbség adódik.

A szemléltetés kedvéért, az egyes tapasztalati modelleket 0,1 Pa·s viszkozitású

1. ábra: Útépitési és RA-bitumen elegyének viszkozitása az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, logaritmikus léptékben



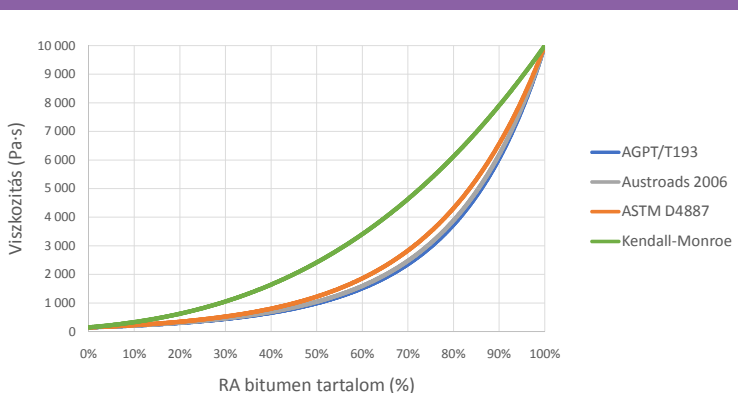
rejuvenálószer, 150 Pa-s viszkozitású útépitési bitumen és 10 000 Pa-s viszkozitású RA bitumenelegyek megfelelő tömegarányaiban ábrázoltuk (1-3. ábra). A vizsgált négy keverési képlet közül a Kendall és Monroe által kidolgozott összefüggés [13] tér el a legnagyobb mértékben az útépitési bitumen és RA bitumen keveréknél a viszkozitás tartományokban. A rejuvenáló szer és RA bitumen elegyek tartományában három kategória különböztethető meg, amelyek közül a rejuvenáló szer alacsonyabb viszkozitás dominanciáját az Austroads 2006 [26] és AGPT/T193 (Chevron) [32] egyenletek fejezik ki. Míg a viszkozitás csökkentésére legkevésbé érzékeny képlet a Kendall-Monroe féle összefüggés.

3.2. A vizsgálatok leírása

3.2.1. Alapanyagok bemutatása

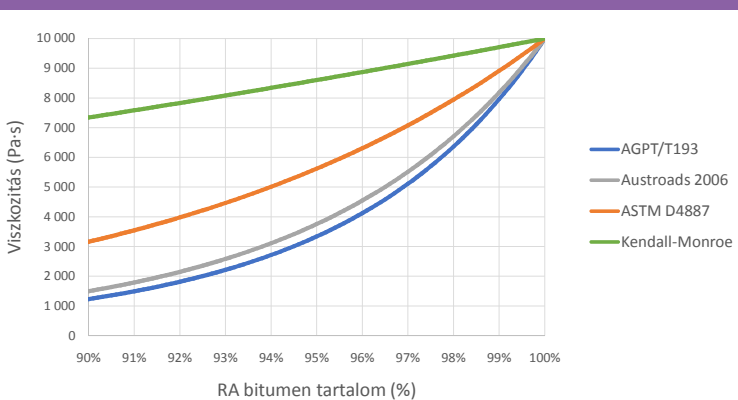
Kutatásunk során egy hazai másodrendű főút kopó- és kötőrétegéből, valamint egy önkormányzati út kopórétegéből származó bontott aszfalt bitumenjét nyertük vissza, az EN 12697-3-ban leírtaknak megfelelően [21], majd útépitési bitumenek felhasználásával különböző bitumenkeverékeket készítettünk. Az elkészült keverékeket dinamikus nyíróreométerrel vizsgáltuk, a 60 °C-on mért komplex viszkozitásokat pedig a különböző keverék viszkozitás számítására alkalmas képletek által számított viszkozitásértékekkel összevetettük.

2. ábra: Útépitési és RA-bitumen elegyének viszkozitása az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, lineáris léptékben



Első lépésként a keverékek alapanyagául szolgáló bitumeneket vizsgáltuk meg, meghatározva komplex viszkozitásukat, illetve – az európai előírásoknak megfelelően – lágyuláspontjukat [18]. A penetráció értékét csak az új útépitési bitumenek esetén mértük, az RA bitumenek esetében a vizsgálatot, annak nagy mintaigénye miatt, nem hajtottuk végre. A felhasznált bitumenek alapvető tulajdonságai az 5. táblázatban találhatók. A lágyuláspont értékek alapján megállapítható, hogy a vizsgált két kopóréteg útépitési bitumennel készült, mivel visszanyert állapotban, sok évnnyi öregedés után sem érik el a polimerrel modifikált bitumenek lágyuláspont értéké-

3. ábra: Alacsony viszkozitású olaj és RA-bitumen elegyének viszkozitása, az RA-bitumen tömegaránya szerint, különböző képletek alkalmazásával, lineáris léptékben



5. táblázat: A kutatásban szereplő bitumenek fő minőségi jellemzői

Bitumen megnevezés	B 70/100	B 100/150	Kopó 1	Kopó 2	Kötő 1
Származási hely	-	-	Másodrendű főút	Önkormányzati utca	Másodrendű főút
Év	2021	2021	2014	2002	1985
Penetráció (0,01 mm, 25°C)	76	109	-	-	-
Lágyuláspont (°C)	47	42,9	64,8	60,4	77,2
Komplex viszkozitás (Pa·s, 60 °C, 1 rad/s frekvencia)	164	93	8 264	1 685	33 556

nek alsó korlátját, a 65 °C-ot. A kötőrétegből származó visszanyert bitumen lágyuláspontja magasabbra adódott, azonban elmondható, hogy a kötőréteg eredetileg útépitési bitumen felhasználásával készült, mivel Magyarországon csak 1987-ben kezdődött meg a PmB-bitumenek gyártása.

3.2.2. A bitumenelegy előállítása

A szakirodalom és a hazai szabályozás nem szolgáltat előírást a bitumenek laboratóriumi keverésére. Ezért saját keverési eljárásrendet alakítottunk ki, ügyelve arra, hogy a bitumenekeket a lehető legrövidebb ideig melegítsük, azonban az elkeveredés a lehető legnagyobb mértékű legyen. A keverékek homogenitását a kétszeri keverés biztosítja. Ennek sikerességét alátámasztják a keverékből végzett párhuzamos mérések eredményei.

Ausztráliában a bitumenekeket melegítő lámpa alatt keverik, így biztosítva, hogy keverés közben sem hűl le a bitumen, és jól keverhető marad, homogén elegyet eredményezve [27]. A hazai bitumenvizsgáló laboratóriumokban a melegítő lámpa nem terjedt el, ezért keveréseinknél a bitumenekeket szárítószekrény segítségével melegítettük és temperáltuk a keverési hőmérsékleten.

A bitumenelegyek készítésekor az egyes komponensekből a keverési aránynak megfelelő

mennyiségeit analitikai mérlegen mértük be, azokat melegítettük, majd a fűtést fenntartva, alaposan összekevertük. A keverés után a keveréket ismételtén temperáltuk, majd egy ismételt, rövidebb időtartamú, fűtött közegben történő keverést követően megtöltöttük a mintakészítő formákat. Az elkészült mintákat a DSR mérés végrehajtásáig 10 °C-os hőmérsékleten tartottuk.

A 6. táblázatban a bemutatott alapanyagok felhasználásával készült bitumenkeverékek összetétele, valamint az AGPT/T192-ben foglaltak szerint, 60 °C-os hőmérsékleten meghatározott komplex viszkozitása látható.

Ahogy az az útépitési bitumen + RA bitumenkeverékekre vonatkozó 1. és 2. ábrán is látható volt, a négy képlet közül három hasonló eredményt szolgáltatott. A kutatás során, ennek megfelelően, a mért komplex viszkozitások viszonyát a négy helyett két képlethez, AGPT/T193-ben megtalálható Chevron-egyenlethez, valamint Kendall és Monroe által leírt egyenlethez képest vizsgáltuk.

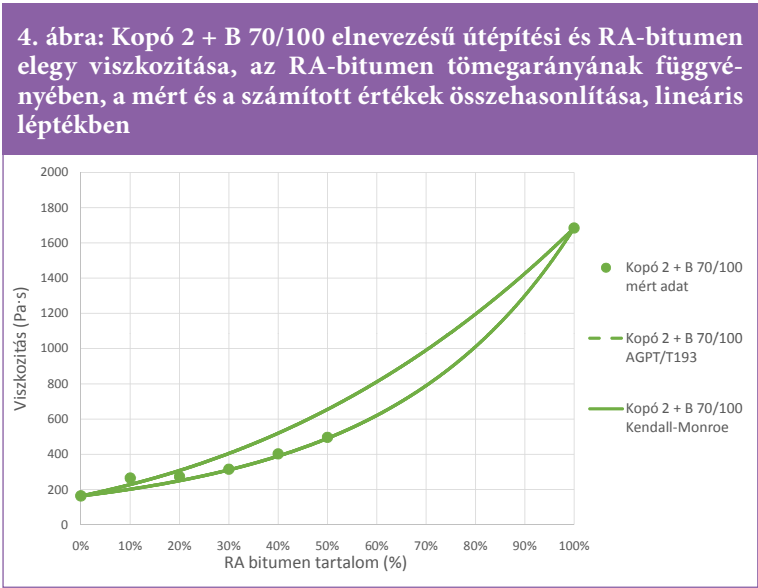
3.2.3. Vizsgálati eredmények kiértékelése

A számított viszkozitásokat és a mérési pontokat, a visszanyert bitumen tartalom függvényében, a 4-6. ábra mutatja be. A 7-10. táblázat pedig a négy útépitési és RA-bitumen

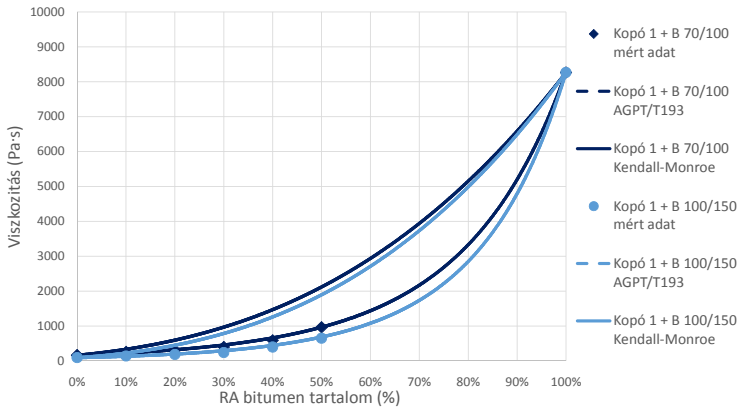
6. táblázat: A bitumenelegyek komplex viszkozitás eredményei az RA-bitumen tömegarányában (60 °C-on, 1 rad/s frekvencián)

Keverék megnevezése	Kopó 1 + B 70/100	Kopó 1 + B 100/150	Kötő 1 + B 70/100	Kopó 2 + B 70/100
Visszanyert bitumen tartalom (tömeg%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)			
0%	164	93	164	164
10%	252	140	309	265
20%	305	187	524	273
30%	402	241	742	315
40%	592	398	1 366	402
50%	965	648	2 353	496
100%	8 264	8 264	33 556	1 685

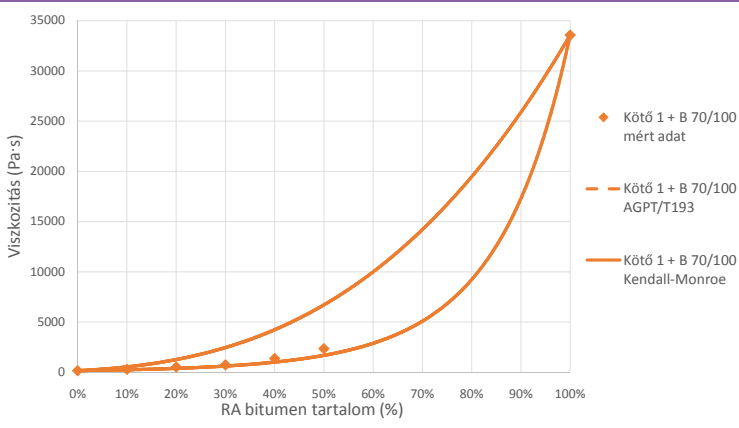
elegy különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeinek a két számítási eljárással (Chevron-képletekkel és Kendall–Monroe formulával) nyert értékeitől való %-os eltéréseit, valamint az eltérések átlagát szemlélteti.



5. ábra: Kopó 1 + B 70/100 és Kopó 1 + B 100/150 útépítési és RA-bitumen elegyek viszkozitása, az RA-bitumen tömegarányának függvényében, a mért és a számított értékek összehasonlítása, lineáris léptékben



6. ábra: Kötő 1 + B 70/100 elnevezésű útépítési és RA-bitumen elegy viszkozitása, az RA-bitumen tömegarányának függvényében, a mért és a számított értékek összehasonlítása, lineáris léptékben



7. táblázat: B 70/100 útépítési és Kopó 2 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 2 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	265	202	31	228	16
20	273	250	9	308	-11
30	315	312	1	405	-22
40	402	390	3	520	-23
50	496	491	1	655	-24
eltérés átlaga:			9		-13

8. táblázat: A B 70/100 útépítési és Kopó 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 1 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	252	228	11	335	-25
20	305	321	-5	597	-49
30	402	457	-12	969	-59
40	592	660	-10	1469	-60
50	965	967	0	2119	-54
eltérés átlaga:			-3		-49

9. táblázat: B 100/150 útépitési és Kopó 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kopó 1 + B 100/150 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	140	134	4	227	-38
20	187	197	-5	451	-59
30	241	293	-18	788	-69
40	398	445	-11	1261	-68
50	648	686	-6	1894	-66
eltérés átlaga:			-7		-60

10. táblázat: B 70/100 útépitési és Kötő 1 RA-bitumen elegyén, különböző RA-bitumen tömegarányok mellett mért komplex viszkozitás értékeknek a két számítási eljárással nyert értékektől való %-os eltérései és az eltérések átlaga

Kötő 1 + B 70/100 keverék RA tartalma (%)	Komplex viszkozitás (Pa·s)				
	mért	AGPT/T193		Kendall-Monroe	
		számolt	eltérés (%)	számolt	eltérés (%)
10	309	250	23	541	-43
20	524	390	34	1269	-59
30	742	621	19	2463	-70
40	1366	1012	35	4239	-68
50	2353	1688	39	6711	-65
eltérés átlaga:			30		-61

4. ÖSSZEFOGLALÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Az ismertetett kutatási munka különböző, hazánkban elérhető, útépitési bitumentípusok és egyes bontott aszfalt fajtákból visszanyert bitumenek különböző arányú keverékeinek komplex viszkozitását mérte (60 °C-on, 1 rad/s frekvencián) azzal a szándékkal, hogy azokat a világon elterjedt keverék-viszkozitás előrebecslő képleteivel számított értékeivel összehasonlítsa. Az ennek során nyert, a mért értékektől való %-os eltéréseket értékelve a következő megállapításokat lehetett tenni:

- az alacsonyabb (1 685 - 8 264 Pa-s) viszkozitású RA bitumen és útépitési bitumen elegyek esetében, a mért értékek, 10-50%-os RA-bitumen tömegarány-nál, a Chevron-egyenlettel számítottakkal nagyon jó egyezést mutattak, mivel a viszkozitás értékeinek átlagos eltérése nem érte el a 10%-ot;
- a legkisebb viszkozitású visszanyert bitumen (Kopó 1, 1 685 Pa-s) tartalmú elegy esetében, a két tapasztalati képlet alkalmazásával számított eredmények között kis eltérés adódik, mivel ebben az esetben volt a legkisebb az eltérés az alkotóelemek viszkozitása között,
- a magasabb viszkozitású (33 556 Pa-s) RA bitumen és az útépitési bitumen elegy (Kötő 1 + B 70/100) viszkozitásai magasabbnak bizonyultak, mint ami a Chevron-képletből előre becsülhető, a Kendall-Monroe képlettel számítottánál azonban alacsonyabbak voltak az értékek,
- összességében az az általános tapasztalat volt levonható, hogy a normál útépitési bitumen és RA bitumen elegyek komplex viszkozitása a Chevron előrebecslő képlettel elfogadható pontossággal leírható.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00060 számú projekt részeként, az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott tá-

moogatásával, a 2020-1.1.2-PIACI KFI pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A kutatás a Hódmezővásárhelyi Útépitő Kft. központi laboratóriumában, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Pályaszerkezeti Laboratóriumában, valamint a Széchenyi István Egyetem Útépitési Laboratóriumában valósult meg. A szükséges alapanyagokat a Hódút Freeway Kft. biztosította.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Asphalt Institute, Asphalt hot-mix recycling, Asphalt Institute manual series no. 20 (MS-20), 1981
- [2] Arrhenius, S. *Über die innere Reibung verdünnter wässriger Lösungen*, Zeitschrift für Physikalische Chemie, 1887
- [3] Barrufet, M. A., Setiadarma, A. *Reliable heavy oil-solvent viscosity mixing rules for viscosities up to 450 K, oil-solvent viscosity ratios up to 4×10^5 , and any solvent proportion*, Fluid Phase Equilibria, 2003
- [4] Beggs, H. D., Robinson, J. R. *Estimating the Viscosity of Crude Oil Systems*, Journal of Petroleum Technology, 1975 DOI: <https://doi.org/fjmh35>
- [5] Bingham, E. C. *The Viscosity of Binary Mixtures*, The Journal of Physical Chemistry, 1914
- [6] Carey, D. E., Paul, H. R. *Effects of asphalt cement rejuvenating agents: final report*, FHWA/LA-80/146, Louisiana Department of Transportation and Development, 1980
- [7] Centeno, G., Sánchez-Reyna, G., Ancheyta, J., Muñoz, J. A. D., Cardona, N. *Testing various mixing rules for calculation of viscosity of petroleum blends*, Fuel, 2011 DOI: <https://doi.org/fkbn94>
- [8] Centeno, G., Sánchez-Reyna, G., Ancheyta, J. *Calculating the Viscosity of Crude Oil Blends by Binary Interaction Parameters Using Literature Data*, Petroleum Science and Technology, 2014 DOI: <https://doi.org/jrr5>
- [9] Cerema, *Recyclage des agrégats d'enrobés dans les mélanges bitumineux à chaud - État de l'art et recommandations (Recycling of asphalt aggregates in hot mixes - State of the art and recommendations)*, 2021

- [10] Elkashef, M., Podolsky, J. H., Williams, R. C., Hernandez, N., Cochran, E. W. *Using viscosity models to predict the properties of rejuvenated reclaimed asphalt pavement (RAP) binders*, Road Materials and Pavement Design, 2019 DOI: <https://doi.org/jrr6>
- [11] Epps, J. A., Little, D. N., Holmgreen, R. J., Terrel, R. L., NCHRP report 224: *Guidelines for recycling pavement materials*, Transportation Research Board, National Research Council, 1980
- [12] Forton, A., Mangiaficio, S., Sauzéat, C., Benedetto, H. D., Marc, P. *Properties of blends of fresh and RAP binders with rejuvenator: Experimental and estimated results*, Construction and Building Materials, 2020 DOI: <https://doi.org/jrsj>
- [13] Kendall, J., Monroe, K. P. The viscosity of liquids II. *The viscosity-composition curve for ideal liquid mixtures*, Journal of the American Chemical Society, 1917
- [14] Kennedy, T. W., Huber, G. A., Harrigan, E. T., Cominsky, R. J., Hughes, C. S., Von Quintus, H., Moulthrop, J. S. *Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program*, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994
- [15] Oliver, J. W. H. *The Influence of the Binder in RAP on Recycled Asphalt Properties*, Road Materials and Pavement Design, 2001 DOI: <https://doi.org/jrsk>
- [16] Oliver, J. W. H., Alderson, A., Austroads *Asphalt recycling: results of a user survey and the design of asphalt mixes incorporating recycled asphalt pavements*, ARRB Transport Research 347, 2000
- [17] Shu, W. R. *A viscosity correlation for mixtures of heavy oil, bitumen, and petroleum fractions*, Society of Petroleum Engineers, 1984 DOI: <https://doi.org/dm253q>
- [18] MSZ EN 1427:2016 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A lágyuláspont meghatározása. Gyűrűs-golyós módszer*
- [19] MSZ EN 12591:2009 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Az útépítési bitumenek minőségi előírásai*
- [20] MSZ EN 12596:2015 *Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A dinamikai viszkozitás meghatározása vákuumkapilláris-módszerrel*
- [21] MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 *Aszfaltkeverékek. Vizsgálati módszerek 3. rész: A bitumen visszanyerése: forgó bepárló*
- [22] MSZ EN 13108-8:2016 *Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 8. rész: Visszanyert aszfalt*
- [23] e-UT 05.01.26:2018 *Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához*
- [24] DAV (Deutscher Asphaltverband e.V. / German Asphalt Pavement Association), *Wiederverwenden von Asphalt, Nachhaltigkeit auf höchstem Niveau (Reusing asphalt, Sustainability at the highest level)*, 2014
- [25] EAPA (European Asphalt Pavement Association), *EAPA Task Force Report - Re-use of Reclaimed Asphalt, Draft Report 7, 2021*
- [26] Austroads 2006, *Asphalt recycling*, Technical Report AP-T66-06, 2006
- [27] Austroads 2013, *Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement: Binder Blend Characterisation*, Technical Report AP-T245-13, 2013
- [28] Austroads 2015, *Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement - Outcomes of Year Two: RAP Mix Design*, Technical Report AP-T286-15, 2015
- [29] Austroads 2016, *Maximising the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mix Design: Field Validation*, Technical Report AP-R517-16, 2016
- [30] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T191, Extraction of Bituminous Binder from Asphalt*, 2015
- [31] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T192, Characterisation of the Viscosity of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder Using the Dynamic Shear Rheometer (DSR)*, 2015
- [32] Austroads, *Austroads Test Method AGPT/T193, Design of Bituminous Binder Blends to a Specified Viscosity Value*, 2015
- [33] ASTM International, *ASTM D4887-99, Standard Practice for Preparation of Viscosity Blends for Hot Recycled Bituminous Materials*, 2003
- [34] AS 2341.3-1993, *Methods of testing bitumen and related roadmaking products Method 3: Determination of kinematic viscosity by flow through a capillary tube*, Standards Australia, 1993

- [35] AS 2008-1997, *Residual bitumen for pavements*, Standards Australia, 1997
- [36] AS/NZS 2341.5-1997, *Methods of testing bitumen and related roadmaking products*

Determination of apparent viscosity by 'Shell' sliding plate micro-viscometer, Standards Australia, 1997



Calculation and prediction possibility of the dynamic viscosity of a mixture comprising road bitumen and reclaimed bitumen

The reuse of reclaimed asphalt pavement in large quantities in new hot and warm asphalt mixtures has significant economic and environmental benefits. In this case, however, in order to achieve satisfactory performance of the final product scientific planning of the mixture and thorough control of production are essential. Before using the reclaimed asphalt pavement, a number of tests have to be performed to verify that the material meets the relevant requirements and can be used in hot or warm asphalt mixtures. It is essential to know the characteristics of the binder in the reclaimed asphalt pavement and the expected properties of the binder blend in the new asphalt mixture. For the prediction and calculation of the latter, the relevant European standard offers the calculation of the penetration or softening point of the binder blend in the mixture with reclaimed asphalt content.

The article deals with the measurement of the dynamic viscosity of bitumen blends of asphalt mixtures made using reclaimed asphalts, determined with a dynamic shear rheometer at a loading frequency of 1 rad/s. Furthermore, the relationships between the different composition ratios of national paving grade bitumens classified on the bases of penetration level and bitumens from reclaimed asphalt pavement are examined.



Möglichkeiten für die Berechnung und Vorhersage der dynamischen Viskosität einer Mischung von Straßenbaubitumen und Altasphaltbitumen

Die Wiederverwendung von zurückgewonnenem Asphaltbelag in großen Mengen in neuen Heiß- und Warmasphaltemischungen hat erhebliche wirtschaftliche und ökologische Vorteile. Um eine zufriedenstellende Leistung des Endprodukts zu erzielen, ist in diesem Fall jedoch eine wissenschaftliche Planung der Mischung und eine gründliche Kontrolle der Produktion unerlässlich. Vor dem Einsatz des zurückgewonnenen Altasphaltbelags muss durch eine Reihe von Tests nachgewiesen werden, dass das Material die entsprechenden Anforderungen erfüllt und in Heiß- oder Warmasphaltemischungen verwendet werden kann. Es ist wichtig, die Eigenschaften des Bindemittels in dem zurückgewonnenen Asphaltbelag und die erwarteten Eigenschaften der Bindemittelmischung in der neuen Asphaltemischung zu kennen. Für dessen Vorhersage und Berechnung bietet die entsprechende europäische Norm die Berechnungsmethode des Penetrations- bzw. Erweichungspunktes der Bindemittelmischung in der Mischung mit zurückgewonnenen Altasphaltanteil an.

Der Artikel befasst sich mit der Messung der dynamischen Viskosität von Bitumenmischungen aus wiederverwerteten aus Altasphalt, gemessen mit einem dynamischen Scherrheometer bei einer Belastungsfrequenz von 1 rad/s. Darüber hinaus werden die Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Zusammensetzungsverhältnissen von nationalen Asphaltsbelagsqualitäten, die nach dem Penetrationsgrad klassifiziert wurden, sowie Bitumenen aus wiederverwerteten Altasphalt untersucht.