



Visszanyert bitumen és friss bitumen elegyének laboratóriumi előállítás optimalizálása

Rosta Szabolcs¹, Gáspár László²

¹Duna Aszfalt Út és Mélyépítő Zrt.

²Széchenyi István Egyetem, Építőmérnöki Kar, Közlekedésépítési és Vizsgázóközpont Tanszék és a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

E-mail: rosta.szabolcs@dunaaszfalt.hu, gaspar.laszlo@kti.hu

DOI: [10.36246/UL.2024.2.05](https://doi.org/10.36246/UL.2024.2.05)

KIVONAT

Különböző előre becsülő képletek léteznek bitumenek keverékeinek, illetve bitumenek és rejuvenálószer keverékeinek számítására. Különböző kötőanyagparaméterek előre becsülésének validálásához bitumenelegyeket kell képezni. Számos kutatás foglalkozik bitumenelegyek vizsgálatával, azonban azok előállítására vonatkozó útmutató, leirat csak elnagyoltan készült, hivatalos eljárásrendet még nem alkottak meg. Azonban az előre becsülő képletek validálásához (speciális elegyekre új képletek megalkotásához) elengedhetetlen, hogy a mart aszfaltból történő bitumen visszanyerése során, az eljárással minél kisebb mértékben módosítsuk a mart aszfaltból származó előregedett bitumen tulajdonságait, hogy minél pontosabb képet kaphassunk annak állapotáról. Továbbá az is nagyon fontos, hogy a friss bitumen és a visszanyert bitumen elkeverése során az elegyből homogén mintát lehessen venni, ugyanakkor az elegyítés során a friss bitument ne öregítsük túl, amelynek hatására helytelen következtetésekre jutnánk. Kutatásunk azzal foglalkozott, hogyan lehet laboratóriumi körülmények között friss bitumen és visszanyert bitumen elegyeket előállítani, amelyeknek tulajdonságai ismételhetőek és reprodukálhatóak.

Kulcsszavak: bitumen kötőanyagok, bitumen fiatalítószer, bitumenelegyek, mart aszfalt újrahasznosítása, aszfaltlaboratóriumi vizsgálatok

ABSTRACT

There are various calculation formulae for bitumen blends and the blends of bitumens and rejuvenators. To validate the forecast of various binder parameters, bitumen blends must be made. A lot of research works deal with the testing of bitumen blends, however, guidelines for their production have only been prepared roughly, and official procedures have not yet been created. However, to validate the predictive formulae (creating new formulae for special mixtures), it is essential to modify the properties of the aged bitumen from the reclaimed asphalt as little as possible during the recovery of bitumen from reclaimed asphalt, so that we can get a more accurate information of its actual condition. Furthermore, it is very important that a homogeneous sample can be taken from the blend when mixing the fresh bitumen and the recovered bitumen, but at the same time, the fresh bitumen should not be aged too much during the mixing, as a result of which incorrect conclusions would be drawn. In our research work, we dealt with the problem how could be produced blends of fresh bitumen and recovered bitumen under laboratory conditions, whose properties are repeatable and reproducible.

Keywords: bituminous binders; bitumen rejuvenators; bitumen blends; asphalt recycling; asphalt laboratory tests

Rosta Szabolcs

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen végzett okl. építőmérnök, a Duna Csoport fejlesztési és innovációs főmérnöke 2020 óta, a Széchenyi István Egyetemen doktorandusz. Fő kutatási területe a visszanyert aszfalt új aszfaltkeverékekben történő alkalmazásának vizsgálata.

Dr. habil. Gáspár László

Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora. A Közlekedéstudományi Intézet kutató professzora, a Széchenyi István Egyetem emeritusz professzora. 490 publikációjának és 645 szakmai előadásának jelentős része aszfalttechnológiai kérdésekkel foglalkozik. 30+ nemzetközi téma és bizottság tagja vagy vezetője (volt).

1. BEVEZETÉS

Ha visszanyert aszfaltot használunk újra az aszfaltkeverékek előállításakor, az új aszfaltban lévő, és abból extrahálható bitumen két komponensből, a frissen hozzáadagolt bitumenből és a visszanyert aszfalt bitumenjéből tevődik össze. Kis mennyiségű visszanyert aszfalt felhasználásakor az abban lévő bitumen hatása elhanyagolható mértékű. 10-20%-os visszanyert bitumentartalom felett azonban számolni kell azzal, hogy az előregedett bitumen tulajdonságai már számottevően befolyásolhatják az elegy tulajdonságát és ezzel együtt a visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverék tulajdonságait is.

Abban az esetben, ha 20%-nál nagyobb mennyiségű visszanyert aszfaltot használunk fel az aszfaltkeverékben, egyrészt a 2021-ben kiadott, visszanyert aszfalt felhasználásra vonatkozó, e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 műszaki előírással [1] és az MSZ EN 12697-8 keretszabvánnyal [2] összhangban, a közös lágyuláspont ellenőrzés során meg kell győződnünk arról, hogy az aszfaltkeverékben lévő bitumen elegy lágyuláspontja beleesik-e az aszfaltkeveréknél felhasználható bitumen fokozatához tartozó lágyuláspont-korlátok közé. Ebben az esetben, a két komponens tulajdonságainak ismeretében, a bitumenkeverék tulajdonságaira következtetni lehet. Hároméves kutatási projekt (2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00060 számú) részeként olyan aszfaltkeverékek fejlesztését tűztük ki célul, melyek 20-50%-os visszanyert aszfaltot tartalmaznak. Nagyon fontosnak tartottuk, hogy átfogó képet kaphassunk a Magyarországon használatos bitumenek és különböző visszanyert bitumenarány együttes teljesítményéről, amely talán a legösszetettebb kérdés a témában. Ilyen adatbázis sajnos nálunk nem lelhető fel. Ezért úgy döntöttünk, hogy alap kutatásként bitumenkeverékekkel foglalkozunk. Azonban a jelenleg az érvényes hazai szabályozásban, de még a nemzetközi szakirodalomban sem találunk előírást a bitumenek laboratóriumi keverésére vonatkozóan. A közös tulajdonság számításának gyakorlati ellenőrzéséhez viszont ismételtelhető eljárás szükséges, amely homogén bitumenelegyeket eredményez, ezért első lépésként körbejártuk ezt a témát, és meghatároztunk saját eljárásrendet, amit friss bitumenek és visszanyert bitumenek keveréséhez alkalmazunk.

2. VISSZANYERT ASZFALT BITUMENÉNEK VISSZANYERÉSI NEHÉZSÉGEI, AZOK HATÁSA A BITUMEN-PARAMÉTEREKRE

A visszanyert aszfaltban lévő bitumenen történő vizsgálatok elvégzéséhez szükséges annak visszanyerése, elkülönítése a kőanyagoktól. Az elvégzendő vizsgálatok típusától és mennyiségétől függ, hogy milyen mennyiségű mintát kell feldolgozni, és hányszor kell a visszanyerési eljárást elvégezni. A visszanyerést forgó bepárló használatával végezhető el. A módszert az MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 szabvány [3] részletesen leírja. Az itt meghatározott eljárás többféleképpen elkezdhető, azonban az oldószer ugyanazon módszer szerint kell a végén eltávolítani.

Az első esetben az aszfaltmintához olyan, általunk választott oldószerrel öntünk, amely jól oldja a bitumént, majd rázogatás után, adott idő elteltével a kapott bitumenes oldatot leszűrjük. A szűrés segítségével eltávolítjuk a 0,063 mm feletti kőanyagokat. Ezt követően az oldatban található finomrészeket

átfolyós centrifuga segítségével távolítjuk el. Így az oldatban már csak a bitumen és a választott oldószer marad.

A második eset az, amikor a bitument nem manuális rázás során oldjuk le a kőanyagokról, hanem ehhez aszfalt analizátort használunk. A leoldást követően az oldatot az analizátor centrifugája segítségével tisztítjuk meg a finomrészekről, majd a kapott bitumenes oldatot egy lombikba engedjük további felhasználásra. Ebben az esetben lényegesen gyorsabb a leoldás folyamata, azonban a kapott oldat nagyon híg, az első esetben kapotthoz viszonyítva. Minél hígabb a bitumenes oldat, annál több ideig tart az utolsó lépés, az oldószer eltávolítása. Egyes analizátorok már rendelkeznek olyan beállítási lehetőséggel, melynek során a kapott oldatot először töményítik, és csak ezután engedjük le az oldatot, és dolgozunk vele tovább. Ezt a lehetőséget azonban kellő odafigyelés mellett érdemes csak használni, mivel a bitumenek magas hőmérséklet hatására, oxigén jelenlétében öregednek, így egy hosszabb töményítési folyamat során erre is gondolni kell.

A visszanyerés utolsó lépéseként a bitument elválasztjuk az oldószertől. Erre a célra használjuk a forgó bepárlót, amelyben meghatározott magas hőmérsékletet és alacsony nyomást tartva, az oldószer elpárolog. Az elkészült nagy mennyiségű oldatot egy részletben nem tudjuk bepárolni, a bepárló lombik szabta méretbeli korlát miatt, így az oldatot szakaszosan pótolni lehet. Erre megoldás, ha a vákuumot időnként megszüntetjük, és a lombikot újra feltöltjük. A másik, praktikusabb megoldás, amikor a bepárlás első fázisában beeresztőcsapos feltét segítségével, folyamatosan adagoljuk be a friss oldatot, az oldószer párolgásához igazítva (1. ábra), majd az összes oldat bejuttatását követően, haladunk a további fázisok felé, azonban a szakaszos betáplálásnak a legnagyobb hátránya, hogy a különböző hőmérsékletű és töménységű oldatok találkozása esetében, a lombikban lévő oldat hirtelen forrásba kezdhet, ilyen esetben gyakran felfut a garatba, ami miatt a vizsgálatot félbe kell szakítani és újratekenni, ami igen nagy időkiesést okoz. Ehhez a módszerhez precíziósan működő vákuumszabályozóra van szükség.



1. ábra: Beeresztőcsapos forgó bepárló, bitumen visszanyeréséhez.

A visszanyert aszfalt bitumenjét a szabványban leírt oldószerek valamelyikével lehet leoldani. Az oldószer eltávolításának metodikáját is szabályozza az előírás, legfeljebb 3 lépcsőben a hőmérséklet növelése és a nyomás csökkentése mellett, az 1. táblázat szerint.

A szabvány szerint, az extra hőmérsékletre (T_3) csak nagyon kemény bitumen esetében van szükség, ha 10 min- T_2 hőmérsékleten és P_2 nyomáson tartást meghaladóan is fennáll a buborékképződés veszélye.

1. táblázat: Európában elterjedt kötőanyag-oldószeres különböző fázisokban alkalmazható hőmérséklete és nyomása [3].

Oldószer		Első fázis		Második fázis		Extra
Leírás	Forráspont	Hőmérséklet, T ₁	Nyomás, p ₁	Hőmérséklet, T ₂	Nyomás, p ₂	Hőmérséklet, T ₃
	°C	°C	kPa	°C	kPa	°C
Diklór-metán	40,0	85	85	150	2,0	175
1,1,1-triklór-etán	74,1	80	30	160	2,0	185
Benzol	80,1	80	30	160	2,0	185
Triklór-etilén	87,0	90	40	160	2,0	185
Xylol	140	120	30	160	2,0	205
Toluol	110,6	110	40	160	2,0	185
Tetraklór-etilén	121	110	40	160	2,0	180

Azonban bármilyen oldószerrel használunk a bejárás végén, annak a megállapítására, hogy eltávolított-e az oldószer, szubjektív döntést kell hozni, mégpedig „megszűnt-e már a buborékképződés az oldatban? (Ez tulajdonképpen az oldószer forrását jelenti). Elvileg, ha megszűnik a buborékképződés, akkor az összes oldószer eltávolított az oldatból.

Ehhez a szabvány annyi ajánlást tesz „Ez legjobban úgy állapítható meg, ha a bejáró lombik forgását egy pillanatra megállítjuk”. Azonban, amikor már kevés oldószer található az oldatban, a buborékképződés akár több sec-ot is igénybe vehet, annak észlelése nagyon nehéz feladat.

Az eljárás során, ha túl korán hagyjuk abba a bejárást, oldószer marad a bitumenben, és ennek eredményeképp, a valóságosnál alacsonyabb viszkozitási értékeket kapunk.

Azonban feltételezhető az is, hogy túl sok ideig tartjuk a bitument magas hőmérsékleten, amely a visszanyert bitumen további öregedését okozza (magasabb viszkozitást kapunk).

Ennek tudatában, a kutatás során külön figyelmet fordítottunk arra, hogy a visszanyert bitument ismételt módon lehessen visszanyerni.

Sokszor ismételt eljárásban egész Európában elterjedt és a hazánkban is alkalmazott triklór etilénnel és tetraklór etilénnel történő visszanyerés közötti eltérést és a bejárás hosszát értékeltük. Érdekes, hogy az ausztrál laboratóriumokban erre a célra toluolt használnak.

Az oldószer lágyító hatását (oldószer marad a bitumenben) több esetben analitikai módszerrel lehetett megállapítani.

Mivel a túlzó öregítés hatásának kimutatására nem állt rendelkezésre célvizsgálat, csak megismételt vizsgálatok alapján értékeltük azt. Hozzá kell tenni, hogy a desztillációban, magasabb hőmérsékleteken az és alacsony nyomáson az oxigén jelenléte is csökken, így a bitumenek oxidációja mérséklődik.

Nagyszámú bitumenvisszanyerés tapasztalataiból a következő megállapításokat lehetett tenni:

- Buborékképződés tényleges megszűnését, az oldószermaradvány elkerülése végett, a legcélszerűbb úgy megállapítani, hogy a bejáró forgását 10 sec-ra leállítjuk. Amennyiben ezalatt nem észlelhető buborékképződés, akkor elfogadjuk annak megszűnését, és a hőmérsékletet és a nyomást még 10 min-ig tartjuk.
- Ha a visszanyert aszfalt bitumenje eredetileg modifikált volt, az esetek nagyobb részében tetraklór etilén és triklór etilén alkalmazása mellett is szükség van a T₃ extra hőmérséklet felvételére, azonban ez a hatás a visszanyert bitumen viszkozitását csak kismértékben vagy elhanyagolható módon befolyásolja.
- Útépítési bitumeneknél azonban csak az esetek kisebb részében van szükség T₃ extra hőmérséklet felvételére. A triklór használatakor ez még kisebb arányban fordul elő.

3. VISSZANYERT BITUMEN ÉS FRISS BITUMEN KEVERÉSI ELJÁRÁSÁNAK KIDOLGOZÁSA

Jelenleg az érvényes hazai szabályozásban, de még a nemzetközi szakirodalomban sem találunk előírást a bitumenek laboratóriumi keverésére vonatkozóan. A közös tulajdonság számításának gyakorlati ellenőrzéséhez azonban homogén bitumenelegyeket eredményező, ismételhető eljárás szükséges. Ezért saját keverési eljárásrendet alakítottunk ki, ügyelve arra, hogy a bitumeneket a lehető legrövidebb ideig melegítsük, a lehető legnagyobb mértékű elkeveredés biztosítása mellett. A megfelelő keverési eljárás kidolgozása hosszabb folyamat során valósult meg, több paraméter változtatásának eredményeként. Továbbá a szükséges eszközök rutinszerű használatához szükséges tapasztalatok eredményeként vontunk le a bitumenek laboratóriumi elegyítésének ismételhetősége tekintetében következtetéseket. A kísérletezések után három olyan fontos paramétert találtunk, amely adott bitumenvizsgálati eljárás bizonytalanságán túl (lásd a 2. fejezetet) a bitumenelegyítés kimenetelét befolyásolhatja:

- a keverés hőmérséklete (hőmérséklettartománya),
- a keverésre szánt időtartam,
- a laboratóriumi bitumen minták tömege – a bitumenfilm vastagsága.

Annak érdekében, hogy a fenti keverést jellemző paraméterek hatását ki tudjuk mutatni, módszeresen változtattuk azokat, és a bitumenelegyeken végzett különböző vizsgálati eredmények homogenitását vizsgáltuk, statisztikai paraméterek segítségével.

A bitumenek a magas hőmérsékleti tartományban folyadékként viselkednek, a homogén elkeveredés paraméterei egymásra hatnak (feltételezhetően alacsonyabb hőmérsékleten hosszabb keverési időre van szükség).

3.1. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A keverékek viszkozitását 60 °C-on, 1 rad/s oszcillációs frekvencián az ausztrál AGPT/T192 szabványnak [4] megfelelően, dinamikus nyíróreométerrel meghatároztuk, az alábbi lépések szerint:

- a dinamikus nyíróreométer előkészítése a vizsgálathoz, temperálás 60 °C-on,
- bitumenminta készítése a méréshez, 25 mm-es átmérőjű szilikonsablon segítségével,
- a bitumenmintának a reométer alsó lemezére helyezése,
- a két lemez közötti réstávolság beállítása, a tér bitumennel való teljes kitöltöttségének ellenőrzése,
- a vizsgálati minta 15 ± 5 min-ig történő kondicionálása ($60,0 \pm 0,1$) °C-on,
- a vizsgálati program beállítása és futtatása (1 rad/s oszcillációs frekvencia, 60 °C),
- a mérési ciklusok során mért komplex viszkozitás rögzítése Pa·s-ban, átlaguk kiszámítása,
- a mérés másik mintán való megismétlése,
- a két párhuzamos mérés során meghatározott komplex viszkozítások átlagaként a vizsgált bitumen 60 °C-on érvényes komplex viszkozitás értékének meghatározása.

3.2. FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK

1. táblázat: Útépítési és visszanyert bitumenek lágyuláspont és komplex viszkozitás értékei.

Bitumen megnevezése	Lágyuláspont (°C)	Komplex viszkozitás (Pa·s)
B 50/70	48,9	260
B 70/100	47,0	177
RA01 bitumen	58,2	1685
RA02 bitumen	56,2	784

B 50/70-es bitumennél a viszkozitás értéke 293 Pa·s-nak adódott. Ez szolgált referenciaértékként a keverékek készítésekor és értékelésekor. Az eljárások összehasonlításához a keverékek viszkozitását határoztuk meg, mivel ez a vizsgálat kis mennyiségű mintát és rövid időt igényel, és az adott tulajdonság pontosan határozható meg. Ennek köszönhetően a megfelelő eljárás kidolgozása során, a lágyuláspont vagy penetráció alapon történő összehasonlításához képest, sok időt lehet megtakarítani.

3.3. BITUMENELEGYEK LÁGYULÁSPONT ÉS VISZKOZITÁS SZÁMÍTÁSI KÉPLETEI

A közös lágyuláspont ellenőrzését az MSZ EN 13108-1 szabvány [5] A mellékletében foglaltak szerint végezhetjük el visszanyert aszfaltot is tartalmazó aszfaltkeverékek bitumenelege esetében. Ehhez szükség van a felhasználni kívánt alapbitumen lágyuláspontjára, valamint a visszanyert aszfaltot alkotó bitumen lágyuláspontjára; ehhez azt az MSZ EN 12697-3 szabvány [3] szerint vissza kell nyerni. Szükséges még az előállítani kívánt aszfalt keverékterve, azon belül is az, hogy a két bitumen milyen tömegarányban alkotja a képződő bitumeneleget.

A szükséges információk birtokában, a visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékekben lévő kötőanyag lágyuláspontja a következő képlettel számítható:

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

ahol:

$T_{R\&B\ mix}$ – 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 útépitési bitumenek viszkozitás szerinti osztályozása az európai gyakorlattól sem idegen. Az útépitési bitumenek minőségi követelményeit összefoglaló MSZ EN 12591 szabvány a viszkozitást ezen bitumenekre vonatkozó választható, jellemző paraméterként kezeli. A magyar nemzeti követelményekben (*e-UT 05.01.26:2018*) azonban a dinamikus viszkozitás, útépitési bitumenek esetében teljesítmény paraméterként nem szerepel 0.

Hazánkban a visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése kapcsán, a kötőanyag keverékek tervezéséhez közös lágyuláspont, illetve közös penetráció számítási módszer van érvényben, viszkozításra vonatkozó azonban nincs. Ilyen típusú számítási módszer az általános európai szabályozásban, az EN szabványokban sem található. Ezzel szemben a szakirodalomban a bitumenek, illetve a bitumenelegyek viszkozítására számítási képleteket dolgoztak ki [8].

Ausztráliában, ahol nem penetráció, hanem viszkozitás alapon sorolják az útépitési bitumeneket kategóriákba, a bitumenelegyeket is közös viszkozitással jellemzik. Az AGPT/T193 szabvány [9] írja le a számítási képlet alkalmazásának menetét. Ezt az egyenletet vagy egyenlet-együttest az irodalomban Chevron-egyenletként tartják számon, és a kötőanyag-keverék várható viszkozitásának meghatározására szolgál:

$$VBI_i = \frac{3 + \log \vartheta_i}{6 + \log \vartheta_i} \quad (2)$$

$$VBI_\beta = \sum_{i=1}^n x_i \cdot VBI_i \quad (3)$$

$$\mu = 10^{\left(\frac{3VBI_\beta}{1 - VBI_\beta} - 3 \right)} \quad (4)$$

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 bitumenkeverék várható viszkozitásának számításához meg kellett határoznunk a felhasználni kívánt alapbitumen és a visszanyert aszfaltot alkotó bitumen viszkozitását is. Ehhez, az ausztrál szabványban foglaltaknak megfelelően, dinamikus nyíróreométerre van szükség. A bitumen viszkozitását 60 °C-on, 1 rad/s-os oszcillációs frekvencián, 25 mm-es átmérőjű mintán határozzuk meg. Két párhuzamos

mérés során, 10-10 oszcillációs ciklus átlagaként meghatározott komplex viszkozitások átlaga adja eredményül a vizsgált bitumen 60 °C-on érvényes, komplex viszkozitás értékét.

4. ÚTÉPÍTÉSI BITUMENNEKEL VÉGZETT BITUMENELEGYÍTÉSI ELJÁRÁSREND KIDOLGOZÁSA

Az eljárásrendet különböző tömegarányokra (10:90, 30:70 és 50:50) határoztuk meg. Mindkét komponens a megvizsgált B 50/70-es bitumen vagy pedig ugyanilyen arányokban B 50/70-es és B 70/100-as bitumen képezte.

Ezzel a keverékösszeállítással biztosítottuk azt, hogy a keverék vizsgált tulajdonságait csak a keverés körülményei (hőmérséklet, idő, minták tömege) befolyásolják, az összetevők változó tulajdonsága, illetve a keverék esetleges inhomogenitása azonban nem okoz eltérést.

A keverék homogenitását az egyetlen keverésből vett több minta mérése során vizsgáltuk, 5, 10, 20 és 30 g-nyi össztömegű keverékeket készítve.

A keverési hőmérséklet 140 és 170 °C volt, míg a keverési időt 1 és 2 min között változtattuk. A vizsgált paraméter minden esetben a 60 °C-on mért komplex viszkozitás volt, ugyanis ez sokkal pontosabban és gyorsabban végrehajtható, mint a lágyuláspont mérése.

4.1. KEVERÉSI HŐMÉRSÉKLET

Ausztráliában a bitumeneket melegítő lámpa alatt keverik, így biztosítva, hogy keverés közben sem hűl le a bitumen, és homogén elegyet eredményezve, jól keverhető marad [0].

A hazai bitumenvizsgáló laboratóriumokban a melegítő lámpa nem terjedt el, ezért a bitumeneket szárítószekrény segítségével melegítettük, és ott temperáltuk, majd fűtőlapon tartottuk a kívánt hőmérsékleten. A kiindulási 170 °C -os hőmérsékletet az e-UT 05.02.12. előírásban [11] levő, az útépitési bitumenekre vonatkozó maximális keverési hőmérsékletnél 10°C-kal alacsonyabbra vettük fel. (A végső eljárásrendben, útépitési bitumen és RA bitumenek, továbbá modifikált bitumen és RA bitumenek elegyítéséhez is ezt a hőmérsékletet határoztuk meg).

4.2. A KEVERÉSI IDŐ ÉS A MINTAMENNYISÉG HATÁSA

A vizsgálódás talán legfontosabb része a minél hatékonyabb mintakiosztások megtalálása, azaz minél kevesebb, egyazon visszanyerésből származó, visszanyert bitumenmintából minél több vizsgálat-sorozatot lehessen elvégezni. Ennek érdekében a minimális bitumenminta mennyiségét kerestük.

Az első keverés során 5 g-os keverékeket készítettünk, B 50/70 és B 70/100 bitumenek felhasználásával, melyhez a szükséges bitumenek pontos tömegét a keveréshez használt, fűthető edénybe analitikai mérleg segítségével mértük be. A bemért bitumeneket szárítószekrényben felmelegítettük 170 °C-ra, és temperáltuk 30 min időtartamig, majd a fűtést és a fűtött közeget fenntartva, a bitumeneket fűtőlapon, spatulával 60 sec-ig intenzíven összekevertük. Így minden esetben a keverési hőmérséklet a temperálási hőmérsékletnél legfeljebb 10°C-kal volt alacsonyabb.

Ezt követően előkészítettük a DSR méréshez szükséges mintákat. A komplex viszkozitást, az AGPT/T192-nek [4] megfelelően, a keverék 2-2 mintáján határoztuk meg.

Az I. keverés paramétereit és a mért viszkozitás értékeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Az I. keverés paramétereit és a kapott eredmények

I. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	5.000	5.000	5.000
B 50/70 tömege (g)	0.502	1.504	2.504
B 70/100 tömege (g)	4.448	3.499	2.503
Temperálási idő (min)	30		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170		
Keverési idő (min)	1		

Komplex viszkozitás, (számított, Pa·s)	185.9	205.3	227.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	234.0	240.0	301.0
	266.0	322.0	376.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	48.1	34.7	74.0
	80.1	116.7	149.0

A viszkozitási eredmények alapján megállapítottuk, hogy a keverék nem homogén, mivel a két mérési eredmény minden keverék esetében nagyon eltérő, valamint, hogy a keverési hőmérséklet vagy a keverési mennyiség nem megfelelő, mivel **a kapott viszkozitásértékek a referenciaértéket jóval meghaladják**. Ez utóbbit a kis mennyiségű minta gyors öregedése okozhatta.

A II. keverés során módosítottuk a keverés időtartamát, minden más paramétert azonban változatlanul hagytunk. Ekkor azt tapasztaltuk, hogy megszűnt a keverék inhomogenitása, a két mérési eredmény közel azonosnak volt tekinthető. A referencia viszkozitásértéktől való nagy eltérés azonban megmaradt, ahogyan az a 3. táblázatban is látható.

3. táblázat: A II. keverés paraméterei és a kapott eredmények

II. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	5.000	5.000	5.000
B 50/70 tömege (g)	0.502	1.505	2.500
B 70/100 tömege (g)	4.444	3.495	2.505
Temperálási idő (min)	30.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás, (számított, Pa·s)	185.9	205.3	227.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	286.0	301.0	314.0
	293.0	307.0	310.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	100.1	95.7	87.0
	107.1	101.7	83.0

A III. keverés alkalmával már megemelt (10 g-os) mintamennyiséggel dolgoztunk, amelynek fő oka az volt, hogy ismételt vizsgálatra a maradék mintából már nem volt lehetőség. Ebben az esetben csak a B50/70-es bitument, a korábban megállapított keverési arányokban, szétválasztottuk, hogy a két minta (B 50/70 és B 70/100) esetleges különbségét kizárjuk (5. táblázat).

4. táblázat: A III. keverés paraméterei és a kapott eredmények

III. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	10.000	10.000	10.000
B 50/70 tömege (g)	1.002	3.001	5.000
B 50/70 tömege (g)	9.003	7.001	5.002
Temperálási idő (min)	30.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	293.0	293.0	293.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	388.0	395.0	392.0
	396.0	383.0	393.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	95.0	102.0	99.0
	103.0	90.0	100.0

A IV. keverés alkalmával a hőmérsékletet csökkentettük 140 °C-ra, megtartva a megemelt, 2 min-s keverési időt. A 5. táblázatban bemutatott eredményekből látható, hogy az alacsonyabb hőmérséklet alkalmazása a kapott eredményeket nem befolyásolta, a mért értékek nagyon hasonlóan alakultak. A további keverések alkalmával visszatértünk a 170 °C-on történő melegítéshez, mivel a későbbiekben visszanyert bitumenek felhasználásával is terveztünk keverékeket vizsgálni, ezek megfelelő keverhetősége pedig, az útépitési bitumenekhez viszonyított magasabb lágyuláspontjuk miatt, magas hőmérsékletet igényel.

5. táblázat: A IV. keverés paraméterei és a kapott eredmények

IV. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	10.000	10.000	10.000
B 50/70 tömege (g)	1.002	3.001	5.000
B 50/70 tömege (g)	9.003	7.001	5.002
Temperálási idő (min)	30.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	140.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	293.0	293.0	293.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	378.0	396.0	390.0
	388.0	388.0	380.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	85.0	103.0	97.0
	95.0	95.0	87.0

Az első négy keverési sorból azt a következtetést vontuk le, hogy az eljárás során, a bitumenek öregedése látható. Ezért az **V. keverésnél a temperálási időt csökkentettük 15 percre**. Az eredményekből az bizonyosodott be, hogy az öregedés kismértékben csökkent, bár a 3. (50-50 %) minta esetében ez nem volt kimondottan látható.

6. táblázat: Az V. keverés paraméterei és a kapott eredmények

V. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	10.000	10.000	10.000
B 50/70 tömege (g)	0.998	3.003	5.002
B 50/70 tömege (g)	9.001	7.004	4.996
Temperálási idő (min)	15.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	293.0	293.0	293.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	366.0	373.0	391.0
	372.0	380.0	385.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	73.0	80.0	98.0
	79.0	87.0	92.0

A VI. keverés alkalmával emeltük a keverék tömegét, 10 g-nyi helyett, összesen 20 g-nyi bitument mértünk be. A keverés további paraméterei megegyeztek a II. keverésnél alkalmazottakkal (170 °C, 2 min). Ebben az esetben a mért viszkozitás értékek és a referenciaérték között már jóval kisebb különbségek adódtak (7. táblázat). A keverékek homogenitása is teljesült, hiszen a párhuzamos mérések között csupán kismértékű eltérések adódtak.

7. táblázat: A VI. keverés paraméterei és a kapott eredmények

VI. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	20.000	20.000	20.000
B 50/70 tömege (g)	1.999	5.997	10.002
B 50/70 tömege (g)	18.002	13.999	9.999
Temperálási idő (min)	15.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	293.0	293.0	293.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	302.0	299.0	300.0
	312.0	294.0	289.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	9.0	6.0	7.0
	19.0	1.0	-4.0

Ugyanezzel az eljárással sorozatot készítettünk a B 50/70-es és B 70/100-as bitumenelegyekre is. A VII. keverési sorozat eredményei a 9. táblázatban láthatók. Itt a számított és a mért értékek közötti eltérés már minden összetétel esetében 8% alatti volt, ami jó eredménynek mondható, de megállapítható az is, hogy a mérési eredmények a VI. keverési eljárásnál ~6 Pa·s-mal, míg a VII. keverési eljárásnál ~8 Pa·s-mal a számított, elvárt értékeknél magasabbra adódtak.

8. táblázat: A VII. keverés paraméterei és a kapott eredmények

VII. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	20.000	20.000	20.000
B 50/70 tömege (g)	1.999	5.997	10.002
B 70/100 tömege (g)	18.002	13.999	9.999
Temperálási idő (min)	15.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	185.9	205.3	227.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	199.0	220.0	233.0
	189.0	208.0	234.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	13.1	14.7	6.0
	3.1	2.7	7.0

Ezért a VIII. és a IX. keverési sorozatnál (B 50/70 -es, illetve B50/70 és B70/100 elegyek) ismételten növeltük a készítendő keverék tömegét. A 9. táblázat eredményei alapján megállapítható, hogy 30 g-nyi össztömegű keverék esetében, már elegendően nagy mennyiségű bitumenrészeket keverünk össze, és az elegy mérete is megfelelő ahhoz, hogy a melegítés és a keverés során a termikus öregedés hatása elhanyagolható legyen, hiszen a mért viszkozítások már csak kis mértékben térnek el a referenciaértéktől. A keverékek homogenitását ebben a mennyiségben is igazolják a keverékek párhuzamos méréseinek eredményei.

9. táblázat: Az VIII. keverés paraméterei és a kapott eredmények

VIII. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	30.000	30.000	30.000
B 50/70 tömege (g)	3.004	9.007	15.003
B 70/100 tömege (g)	27.002	20.995	15.006
Temperálási idő (min)	15.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		

Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	185.9	205.3	227.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	188.0	200.0	230.0
	194.0	208.0	227.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	2.1	-5.3	3.0
	8.1	2.7	0.0

10. táblázat: A IX. keverés paramétereit és a kapott eredmények

IX. keverési sor			
Keverék össztömege (g)	30.000	30.000	30.000
B 50/70 tömege (g)	2.995	5.998	15.000
B 50/70 tömege (g)	26.996	14.006	14.998
Temperálási idő (min)	15.0		
Temperálási hőmérséklet (°C)	170.0		
Keverési idő (min)	2.0		
Komplex viszkozitás (számított, Pa·s)	293.0	293.0	293.0
Komplex viszkozitás (1. és 2. minta, mért; Pa·s)	290.0	291.0	296.0
	298.0	295.0	298.0
Komplex viszkozitás (mért – számított, 1. és 2. minta; Pa·s)	-3.0	-2.0	3.0
	5.0	2.0	5.0

A vizsgálati eredményeket értékelve, elmondható, hogy a B50/70 és a B70/100 bitumenelegy esetében, a számított és a mért értékek közötti eltérés mindegyik összetételnél, a VIII. keverési eljárásban 5 % alá szorult, és a három összetétel átlagos hibája ~1%-nak adódott. Ez a B50/70-es bitumen 3 összetételben történő összekeverése esetében (IX. keverési eljárás), a különböző összetételek hibája gyakorlatilag ugyanazon anyag hatszor történő mérését jelenti; eredménye minden esetben 2% alatt maradt. Ezeknek a méréseknek az átlagos hibája ~0.6%-ra adódott. Az elvégzett keverések és mérések eredményeinek elemzése alapján, tehát a VIII. és a IX. keverési eljárás sikeresnek tekinthető, mivel ezekben az esetekben sikerült elérni a keverék homogenitását, és az öregedés hatása is elhanyagolható mértékűnek mutatkozott. **A bitumenek laboratóriumi keverését, ezek alapján, 30 g-os vagy annál nagyobb mennyiségben hajtottuk végre, 15 min-ig tartó, 170 °C-os temperálási és annál legfeljebb 10 °C -kal alacsonyabb keverési hőmérséklet mellett; a keverés legalább 2 min időtartamig tartott. Túlzott mennyiségű növelés csak abban az esetben ajánlott, ha ismételtlen megbizonyosodunk a homogenitásról. Ha ez nem teljesül, a keverési időt is növelni szükséges.**

4.3. A BITUMENELEGYÍTÉSI ELJÁRÁSREND VALIDÁLÁSA, VISSZANYERT ASZFALTOK FELHASZNÁLÁSÁVAL

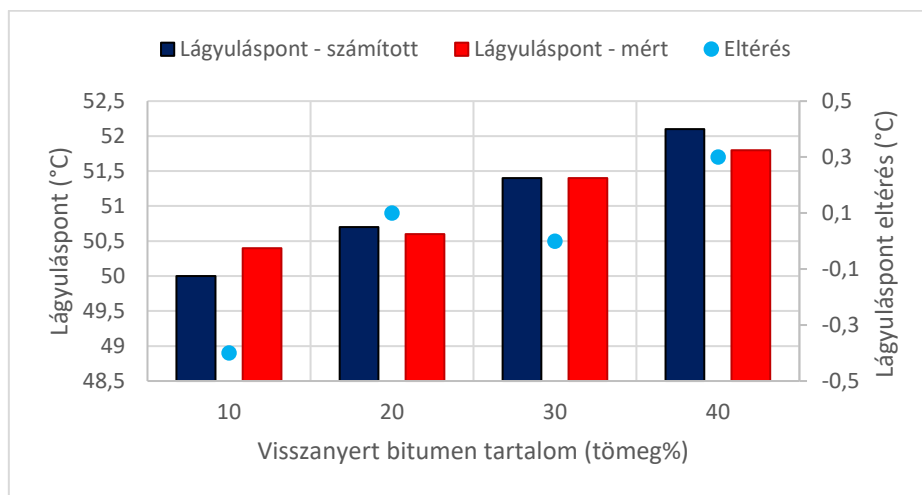
A keverési eljárás kidolgozását követően, különböző utépítési és visszanyert bitumenek lágyuláspont és viszkozitás értékeit határoztuk meg (1. táblázat). Ezt követően bitumenelegyeket készítettünk, különböző keverési arányok mellett, és ugyanezeket a tulajdonságokat a keverékeken is meghatároztuk. A kísérletsor eredményeként, lehetőségünk nyílt összehasonlítani a keverékeken mért értékeket az elméleti (európai, illetve ausztrál szabványokban megadott, számítás útján meghatározott) eredményekkel.

Az Európában használatos, penetrációs alapon szabványosított utépítési bitumenekre a bemutatott viszkozitás alapú módszert még nem validálták, így nem jelenthetjük ki biztosan, hogy a számítási eljárás a hazai visszanyert aszfalt gyártása során keletkező bitumenkeverékek tulajdonságait jól leírja, és a közös lágyuláspont meghatározás mellett, hasonlóan hatékony eljárásról beszélhetünk. Ennek igazolására a bemutatott keverési eljárással készített bitumenelegyek lágyuláspontja mellett, azok DSR mérés során meghatározott, komplex viszkozitását is vizsgáltuk. A vizsgált keverékek összetételét, valamint

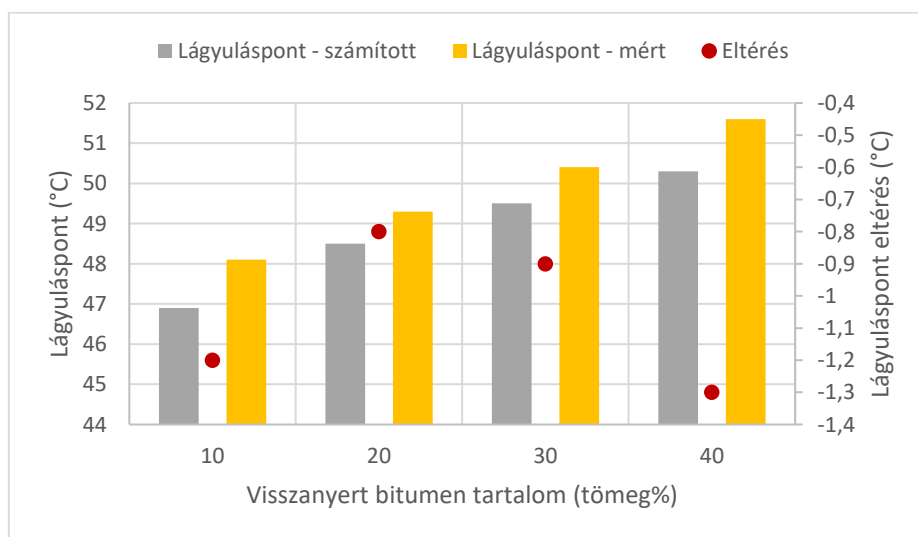
az alkotóelemek tulajdonságai alapján számolt, és a keverést követően mért lágyuláspont és viszkozitás értékeket a 12. 11. táblázat és a 2. ábra foglalja össze.

11. táblázat: A vizsgált bitumenelegyek számított és mért lágyuláspont és komplex viszkozitás értékei

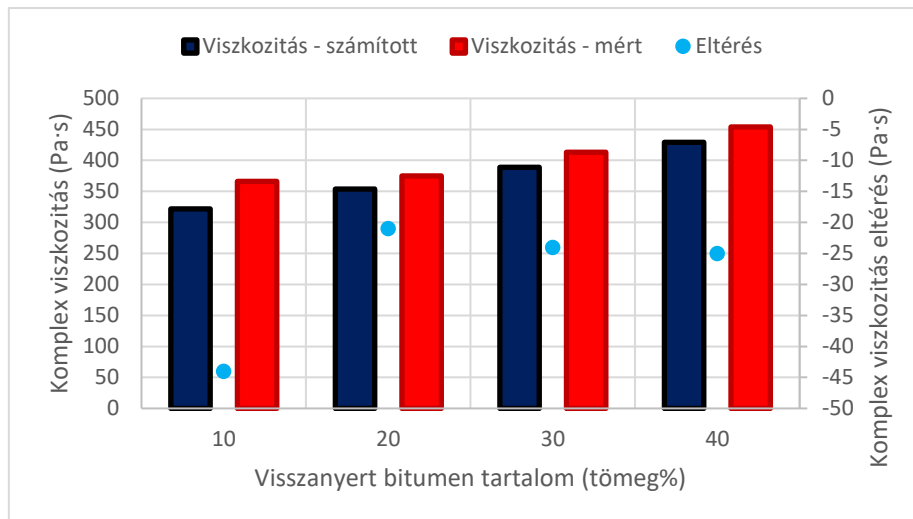
Keverék sorszáma	Alapbitumen	Visszanyert bitumen	Visszanyert bitumen tartalom (tömeg%)	Lágyuláspont (°C)		Komplex viszkozitás (Pa·s)	
				számított	mért	számított	mért
1.	B 50/70	RA01	10	50,0	50,4	322	366
2.	B 50/70	RA01	20	50,7	50,6	354	375
3.	B 50/70	RA01	30	51,4	51,4	389	413
4.	B 50/70	RA01	40	52,1	51,8	429	454
5.	B 70/100	RA02	10	46,9	48,1	217	248
6.	B 70/100	RA02	20	48,5	49,3	267	292
7.	B 70/100	RA02	30	49,5	50,4	330	348
8.	B 70/100	RA02	40	50,3	51,6	411	392



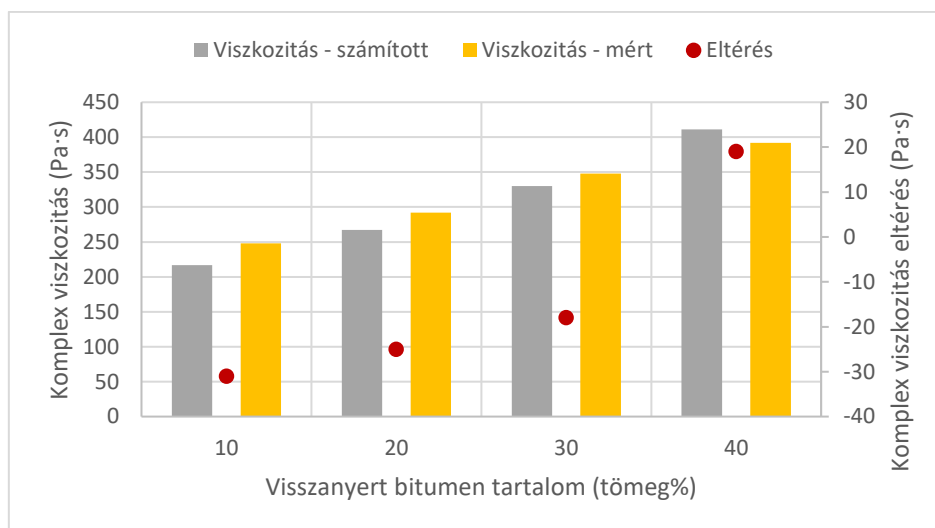
2. ábra: B 50/70 és RA-02 bitumen felhasználásával készült elegyek számított és mért lágyuláspontja, különböző, visszanyert bitumentartalom mellett.



3. ábra: B 70/100 és RA-02 bitumen felhasználásával készült elegyek számított és mért lágyuláspontja, különböző, visszanyert bitumentartalom mellett.



4. ábra: B 50/70 és RA-02 bitumen felhasználásával készült elegyek számított és mért komplex viszkozitása, különböző, visszanyert bitumentartalom mellett.



5. ábra: B 70/100 és RA-02 bitumen felhasználásával készült elegyek számított és mért komplex viszkozitása, különböző, visszanyert bitumentartalom mellett

Ahogy az a 2. ábra és 3. ábraán is látható, az EN szabványban leírt, közös lágyuláspont számítás során meghatározott értékek az elkészített keverékeken mért lágyuláspont eredményekkel jó egyezést mutatnak. Ez igazolja az elvégzett keverések sikerességét, az alkotóelemek homogén elkeveredését. A bitumenelegyek számított és mért viszkozitás értékeinek összehasonlítása után elmondható, hogy a vizsgált esetekben – a visszanyert bitumen mennyiségétől függetlenül – a két érték közötti eltérés kis mértékű (4. és 5. ábra). Ezek alapján kijelenthető, hogy a bemutatott útépitési bitumenek és visszanyert aszfaltokból származó bitumenek felhasználásával készített bitumenelegyek közös tulajdonságát nem csak lágyulásponttal, hanem viszkozitással is jól lehet jellemezni. A két összefüggés hasonlóan jó megbízhatóságúnak mutatkozott a laboratóriumi keverések alkalmával. Ugyanakkor a 60 °C-os viszkozitásmérés ideje töredéke a lágyulásponténak. Mindezek alapján érdemes lehet a visszanyert aszfalt felhasználása során, a bitumenek viszkozitását is vizsgálni, és hosszabb adatgyűjtést követően, megvizsgálni, hogy indokolt-e viszkozitás határértékeket bevezetni, és a várható közös viszkozitás-számítást elvégezni; mindezeket a szakterület tervezési és gyártási folyamatainak elősegítése érdekében.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Több korábbi kutatási munkánkban bemutatott bitumenelegy vizsgálatot a jelen cikkben bemutatott eljárásrend szerint hajtottuk végre [8, 12, 12, 14].

A visszanyert aszfaltok új aszfaltkeverékekben történő újra hasznosítása az eddigi alacsony, 10-20%-os maximálisan megengedett, felhasználási arányokat meghaladó mértékben, hazánkban is elterjedően van, a véges primer nyersanyagkészletek és a jövőben, a felújítások során keletkező nagy mennyiségű visszanyert aszfalt felhasználási igénye következtében. Ehhez azonban a keverőtelepen végzett folyamatok és a laboratóriumi vizsgálatok tekintetében is fokozott odafigyelésre van szükség.

Nagy hangsúlyt kell fektetni a depóniák homogenizálására, annak elérése érdekében, hogy ez az alapanyag az aszfaltkeverék készítésekor, nagy mennyiségben is biztonságosan használható lehessen anélkül, hogy összetételének ingadozása a keverék tulajdonságaira kedvezőtlen hatással lenne. Laboratóriumi vizsgálatok során, az egyes kőanyagfrakciókon és a bitumenen túl, a visszanyert aszfaltot és az abból kioldással visszanyert bitument is vizsgálni kell annak érdekében, hogy a keverékhez felhasználni tervezett alapanyagok tulajdonságait feltérképezzük, és ezáltal megfelelő keveréktervet készíthessünk [15].

20%-ot meghaladó visszanyert aszfalt tartalomnál, különösen nagy hangsúlyt kell fektetni a visszanyert aszfalt tulajdonságainak az új aszfaltkeverékekre gyakorolt hatására. Először a legfontosabb összetevőnek, a bitumennek a tulajdonságairól kell információkat gyűjteni; erre vonatkozólag még csak kevés hazai kutatásról számoltak be.

Egy kutatássorozat első lépéseként indokoltnak láttuk a visszanyert aszfaltból származó bitumen és a friss bitumen elegyítésének laboratóriumi eljárásrendjét körbejárni, fellelhető előírások és szakirodalom hiányában, pedig saját eljárásrendet kialakítani.

A kidolgozott keverési eljárás röviden a következő. Melegített spatulával, a bitumenből a hozzávetőlegesen szükségesnek ítélt mennyiséget kivágjuk, majd a tégellyel tározott precíziós mérlegen tömegét megmérjük. Mérés után, az eredmény függvényében, hozzáteszünk, vagy elveszünk a tégelybe helyezett bitumenből addig, amíg az előírt keverési arányhoz tartozó mennyiséget, a kívánt pontossággal, el nem érjük. Ezt mindkét (a visszanyert és a friss) bitumen esetében végrehajtjuk. A bemért bitumeneket tartalmazó tégelyt 170°C-ra melegített szárítószekrénybe helyezük, és amikor az anyaghőmérséklet eléri a 170 °C-t, azt még 15 min-ig melegítjük. Ezt követően, melegítőlapon legalább 2 min-ig elkeverjük úgy, hogy közben az anyaghőmérséklet 10°C-nál nagyobb mértékben ne változzék.

Amennyiben DSR készülékkel az elegy 60 °C-os komplex viszkozitásának vizsgálatát hajtjuk végre, az anyagot formákba öntjük, minden keverékből 2 db, 25 mm-es átmérőjű mintát készítve.

A mintákat hagyjuk 170°C-os hőmérsékletig melegedni, hogy azok kellőképpen elterüljenek a sablonban, majd kivesszük azokat. Miután kihűltek, hevített, széles spatulával lehúzzuk a felesleges mennyiségű bitument a mintáról, teljesen a mintakészítő sablon síkjáig. A kész mintákat a DSR mérésig 10 °C-os hűtőben tároljuk.

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

A kutatást megalapozó vizsgálatokat a Hódmezővásárhelyi Útépitő Kft. központi laboratóriumában, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszékének Pályaszerkezeti Laboratóriumában, valamint a Széchenyi István Egyetem Útépitési Laboratóriumában végezték. A szükséges alapanyagokat a Hódút Freeway Kft. biztosította.

7. IRODALOM

- [1]: e-UT 05.02.11:2018 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei
- [2]: MSZ EN 12697-8:2019 Aszfaltkeverékek. Vizsgálati módszerek. 8. rész: Aszfalt próbatestek hézagjellemzőinek meghatározása
- [3]: MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 Aszfaltkeverékek. Vizsgálati módszerek 3. rész: A bitumen visszanyerése: forgó bepárló

- [4]: Austroads, Austroads Test Method AGPT/T192, 2015, Characterisation of the Viscosity of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Binder Using the Dynamic Shear Rheometer (DSR)
- [5]: MSZ EN 13108-1:2016 Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 1. rész: Aszfaltbeton
- [6]: MSZ EN 12591:2009 Bitumen és bitumenes kötőanyagok. Az útépitési bitumenek minőségi előírásai
- [7]: e-UT 05.01.26:2018 Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához
- [8]: Rosta, S. & Gáspár, L. 2023. Dynamic Viscosity Prediction of Blends of Paving Grade Bitumen with Reclaimed Bitumen. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 51(3), 263–269. <https://doi.org/10.3311/PPtr.21926>
- [9]: Austroads, Austroads Test Method AGPT/T193, 2015. Design of Bituminous Binder Blends to a Specified Viscosity Value.
- [10]: Austroads, 2013, Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement: Binder Blend Characterisation, Technical Report AP-T245-13.
- [11]: e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei.
- [12]: Rosta, Sz. & Gáspár L. 2023. Útépitési bitumen és visszanyert bitumen elegyének dinamikai viszkozitás számítása és előrebecslési lehetősége. *Közlekedéstudományi Szemle* 73 (1), 21-37. ISSN 0023-4362, <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.2>
- [13]: Rosta Sz. & Zvekán F. 2022. Visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverék tervezése lágyabb bitumen felhasználásával. *Útügyi Lapok*, 2022, 10(16) ISSN: 2064-0919, <https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.05>
- [14]: Toth, C., Petho, L. & Rosta, S. 2023. Rheological characterisation of bituminous binder blends for the design of asphalt mixes containing high recycled asphalt content. *Acta Technica Jaurinensis*, 16(2), 62–74. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00694>
- [15]: Tóth Cs. & Pethő L. 2023. Magas visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek műszaki feltételei. *Útügyi Lapok*, 2023, 11(17). ISSN: 2064-0919. <https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.05>