



# Visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverék tervezése lágyabb bitumen felhasználásával

## Rosta Szabolcs, Zvekán Fanni

Duna Aszfalt Út és Mélyépítő Zrt.

E-mail: [rosta.szabolcs@dunaaszfalt.hu](mailto:rosta.szabolcs@dunaaszfalt.hu), [zvekan.fanni@hodut.hu](mailto:zvekan.fanni@hodut.hu)

DOI: [10.36246/UL.2022.1.05](https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.05)

### KIVONAT

Útpályaszerkezeti aszfaltrétegek esetén a visszanyert aszfalt használata a hazai gyakorlatban jóval alacsonyabbra adódik a nyugat-európai gyakorlathoz képest. Az utóbbi években érvényben lévő útügyi műszaki előírások szerint a maximálisan adagolható visszanyert aszfalt (RA) mennyisége fokozott forgalmi terhelésű (C, D, E) útkategóriában útépitési bitumenekkel készült alap és kötőrétegek esetén 20% volt. Az egyik legnagyobb korlátját ennek a határértéknek az jelentette, hogy a visszanyert aszfaltban lévő kötőanyag az évek folyamán már olyan mértékű előregedésen megy keresztül, hogy nagyobb mennyiségben az aszfaltkeverék tulajdonságára kontroll lépések nélkül mértékadóan képes hatni. A hazai gyakorlatban a normál és fokozott igénybevételi kategóriában alkalmazott útépitési bitumenek fokozatát szinte kizárólag B 50/70 típusra szokás megválasztani. Az ilyen kategóriájú bitumen tulajdonságait a visszanyert aszfaltban lévő kötőanyag tulajdonsága nagyobb adagolási mennyiségeknél képes annyira befolyásolni, hogy a bitumenelegy legfontosabb jellemzői (lágyuláspont, penetráció) már egy keményebb kategóriájú útépitési bitumen paramétereinek felelnének meg.

Az előregedett kötőanyag tulajdonságainak kompenzálására magas RA adagolás esetén ilyen esetekben célszerű lágyabb kategóriájú bitument alkalmazni. Magyarországon ilyen bitumenkategória ugrással történő laboratóriumi keveréktervezésre korábban még nem volt gyakorlat.

Jelen cikkünkben bitumenkategória ugrással történő keveréktervezés folyamatát mutatjuk be egy AC 22 kötő (F) keverék esetén B 50/70 bitumenelegyet figyelembe véve. A keveréket 40 % RA adagolással és B 70/100-as bitumen felhasználásával terveztük meg, és aszfaltmechanikai vizsgálatok alapján értékeltük annak teljesítményét.

*Kulcsszavak:* visszanyert aszfalt, bitumen-fokozat ugrás, keveréktervezés, lágyuláspont, penetráció

### ABSTRACT

In the case of asphalt pavement layers, the use of reclaimed asphalt (RA) is lower in Hungary compared to Western European practice. According to the Hungarian technical specification valid in recent years, the allowable maximum amount of reclaimed asphalt on medium volume roads (C, D, E category) for asphalt mixtures with normal bitumens was 20% for base and binder layers. One of the biggest limitations of this threshold is that the binder in the reclaimed asphalt to such an extent that it is able to have a significant effect on the properties of the asphalt mix in if RA is used in larger quantities. The bitumen type of asphalt mixtures used in the normal and increased stress category used in Hungary is almost exclusively chosen for type B 50/70. The properties of this category of bitumen can be so influenced by the properties of the binder in the reclaimed asphalt to such an extent that the most important characteristics of the bitumen blend (softening point, penetration) correspond to the parameters of a more rigid category of road bitumen.

In such cases, it is advisable to use a softer category of bitumen to compensate for the properties of the aged binder. Designing asphalt mixes using the binder grade bump method has never been used in Hungary before.

In this paper, we present the process of mixture design for bitumen grade bump for an AC 22 binder (F) mixture. The mixture with a base binder properties of B50/70 was designed with 40% RA and B 70/100 bitumen and its performance was evaluated based on asphalt mechanical tests.

*Keywords:* reclaimed asphalt, bitumen grade-bump, asphalt mix design, softening point, penetration

**Rosta Szabolcs**

*Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola PhD hallgatója (Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék). A Duna Csoport innovációs főmérnöke.*

**Zvekán Fanni**

*A Duna Csoport innovációs mérnöke.*

---

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre jelentősebb problémát okoz a világon szinte mindenhol a hulladékok keletkezése és kezelése, a környezetszennyezés, valamint a nem megújuló energiaforrások mennyiségének rohamos csökkenése. Mindezek mellett nem szabad elfeledkeznünk a globális felmelegedésről, a magas széndioxid kibocsátásról, valamint arról a tényről, hogy a Föld nyersanyagkészletei is csak véges mennyiségben állnak a rendelkezésünkre. Számptalan kutatási terület foglalkozik ezekkel a kérdésekkel, hogy mielőbbi megoldást találjanak a felmerült problémákra.

Az elmúlt évtizedekben az építőipar is elkezdett nyitni a környezetbarát megoldások irányába. Bár a visszanyert aszfaltot 1915 óta használják fel aszfaltkeverékekben, az újrahasználást különösen népszerűvé vált az 1970-es években, amikor - az arab olajkorlátozás következtében létrejövő magas olajárak miatt - igyekeztek olyan technológiai újításokat bevezetni, amelyek révén csökkent az aszfalt kötőanyag iránti kereslet, és ezáltal az aszfaltburkolatok aszfalt keverékeinek költségei is. Az ekkor kifejlesztett módszereket számos új technológia mellett a mai napig használjuk az útépitésben [1]. A visszanyert aszfalt útépitésben történő felhasználását biztosító technológiák között megkülönböztetünk helyszíni és keverőtelepi, hideg és meleg eljárásokat [2] [3]. Ezek közül kiemelendő a keverőtelepi meleg eljárás, amely nagy mennyiségben teszi lehetővé a visszanyert aszfalt felhasználását az egyes útszakaszok rekonstrukciója során olyan módon, hogy az annak eredeti funkcióját megtartva, ismét pályaszerkezeti aszfaltrétegbe kerül. Ahogy azt már többen is bemutatták, a keverőgép felépítése, kialakítása, és ezáltal az eltérő beadagolási módok jelentős mennyiségi korlátokat szabnak a visszanyert aszfalt felhasználás tekintetében [4] [5]. Az adagolási módok között a fő különbséget az jelenti, hogy a visszanyert aszfalt még hidegen, vagy már melegen találkozhat a forró kőanyagokkal, vagyis a forró adalékok által, azoktól elkülönítve egy másik létesítményben, vagy esetleg azokkal együtt, egy helyen kerül felmelegítésre. Az elérhető kialakítások közül a paralleldobos, vagy felső dobos RA adagolási rendszer már igen nagy hatékonyságúnak tekinthető, optimális esetben akár 50-70 %-os visszaadagolást is lehetővé tesz. Az ilyen típusú aszfaltkeverők főként Nyugat-Európában terjedtek el. Hazai megjelenésük, illetve elterjedésük a jövőben nagyban elősegítheti az e-UT 05.02.11 számú útügyi műszaki előírás 2021. évi módosításának megfelelő, a korábbi évek gyakorlatánál jóval magasabb visszaadagolások megvalósítását.

Az EAPA 2020. évi felmérése alapján az európai országok visszanyert aszfalt felhasználása meleg aszfaltkeverékekbe igen változó mértékű [6]. Amíg Németországban, Franciaországban vagy Finnországban a keletkező éves visszanyert aszfalt mennyiségének több, mint 75 %-a kerül ismét meleg eljárással gyártott aszfaltkeverékekbe, tehát újrahasználásra, addig Olaszországban vagy Norvégiában a 35 %-ot sem éri el ez az érték. Ezekben az országokban nagyobb mértékben újrahasznosítják az anyagot helyszíni hideg, telepi hideg eljárással, vagy szemcsés anyaggal keverve burkolatalap rétegekhez.

A visszanyert aszfalt újrahasználást hatékonyságát legjobban jellemző mérőszámát úgy fejezhetjük ki, hogy az adott országban leggyártott összes aszfaltkeverék mennyiségében mennyi visszanyert aszfaltot használtak. Európában az EAPA adatai alapján ebben legelő jár Belgium, Dánia, Svájc, Finnország, Németország, ahol 25-30%-os az arány. Ezzel szemben Magyarországon ez az arány mindössze 2,1%-ra adódott a felmérés szerint.

Hazánkban az útépités azon területek közé sorolható, ahol még nem terjedtek el kellő mértékben a környezetet kímélő technológiák, azon belül is az olyan aszfaltkeverékek gyártását célzóak, amelyek nem csupán elsődleges nyersanyagot, hanem másodlagos nyersanyagként az aszfalt pályaszerkezeti rétegbe egyszer már beépített anyagot (visszanyert aszfaltot) is használnak. Ennek két fő oka, hogy az eddig érvényben lévő szabályozás szerint sajnos könnyedén hulladék státuszba sorolható a visszanyert aszfalt, ami nagyban megnehezíti az újrafelhasználás vagy az újrahasznosítás folyamatát, valamint a környezetet jobban kímélő módszerek a megszokottól eltérő aszfalt előállítási technológiát igényelnek. Ezen területek fejlesztése és a korlátok felülvizsgálata azonban egyre fontosabbnak látszik figyelembe véve, hogy hazánk kövagyron helyzete nem túl biztató. Aszfalt alapanyagként megfelelő kőanyagot jelenleg 10-15 kőbánya termel ki, amelyekben a még hozzáférhető kő mennyisége összesen kb. 300 millió tonnára tehető. A szükséges évi aszfaltalapanyag és az emellett képződő egyéb anyagok összmennyisége 10 millió tonna feldolgozást jelent a bányákban évente, amely alapján a jelenlegi ásványvagyron Magyarországon maximum 30 évre tehető [7]. Ennek fényében törekedni kell arra, hogy minél több területen újrafelhasználjuk az útépitési célra megfelelő anyagokat.

Jelenlegi kutatásunk célja olyan aszfaltkeverékek tervezése, amelyek a korábbi évek gyakorlatát meghaladó mennyiségben tartalmaznak visszanyert aszfaltot és tulajdonságaikat, teljesítményüket tekintve megfelelnek a vonatkozó előírásokban meghatározott, visszanyert aszfaltot nem tartalmazó, meleg eljárással készített aszfaltkeverékek felé támasztott követelményeknek. Az ilyen típusú keverékek tervezése és laboratóriumi vizsgálata lehet az első lépés a magas újrahasználat hazai elterjedése felé vezető úton, melyet a telepi meleg újrahasználatot biztosító keverőtelepi és gépészeti újítások követhetnek majd.

## 2. A VIZSGÁLT ASZFALTKEVERÉKEKHEZ FELHASZNÁLT ANYAGOK, VALAMINT A KEVERÉKEK BEMUTATÁSA

Kutatásunk során kétféle aszfaltkeveréket terveztünk, majd ezeket laboratóriumi keverés útján legyártottuk, és vizsgálatokat végeztünk az egyes tulajdonságaik összehasonlítása érdekében. Az egyik keverék minden tekintetben megfelel AC 22 kötő (F) B 50/70-es aszfaltkeverékekre vonatkozó jelenlegi előírásoknak. Munkánk során ez szolgált referencia gyanánt. A másik vizsgált keverék azonban nem szabványos keverék: ezt 40 % visszanyert aszfalt felhasználásával terveztük, valamint úgy, hogy teljesítse az AC 22 kötő (F) B 50/70-es aszfaltkeverékek felé támasztott követelményeket B 70/100 bitument használva.

A keverékek során felhasznált alapanyagok a következők: mészköliszt, három különböző frakciójú, gánti származású kőanyag (NZ 0/4, NZ 4/11, NZ 11/22), kétféle visszanyert aszfalt (11 RA 0/8, 22 RA 0/16) és két típusú útépitési bitumen (B 50/70, B 70/100). A mészköliszt és a kőanyagok összetételét, valamint a friss bitumenek lágyuláspont és penetráció értékeit a vonatkozó szabványoknak megfelelően határoztuk meg.

A felhasznált visszanyert aszfalt egy körülbelül 18 éves, két számjegyű főút rétegeinek marásából származik. Az Országos Közúti Adatbank (OKA) adatbázisa alapján az alapanyagot szolgáltató szakasz alaprétegében előfordulhat nem zúzott szemcséjű kavics, azonban a keverékek pontos összetétele, tulajdonsága nem ismert (1. táblázat).

1. táblázat. Az OKA pályaszerkezeti adatai a visszanyert aszfaltot biztosító két számjegyű főút megfelelő szakaszáról.

Építés dátuma	Vastagság	Réteg tetejének mélysége (mm)	Réteg anyaga az OKA szerint
2003.05.25.	45 mm	0	B213: aszfaltbeton (AB-8, -11,-11/F,-16,-16/F; AC-8,-11,-11/F,-16, -16/F kopó)
2003.05.22.	60 mm	45	K610: kötőréteg (K-11,-12,-20,-22,-20/F,-22/F; AC-11, -16/NM, -22, -22/F, 22/NM kötő)
2003.05.19.	90 mm	105	K620: kötőréteg (JU-11, JU-16, JU-20, JU-22,

			JU32, JU32/F, JU-35, JU-35/F, JU-45/F)
2003.05.16.	200 mm	195	A741: cement kötőanyaggal stabilizált szemcsés anyag telepen keverve (CK <sub>i</sub> , PK <sub>i</sub> )

A kapott adatok alapján úgy döntöttünk, hogy az útszakasz felső 105 mm-ének marásából származó anyagot használjuk a kutatás során, ezért egy rövidebb szakaszon az egybemart kopó és kötőrétegből mintát gyűjtöttünk. A laboratóriumba beérkező visszanyert aszfaltot 0/11 és 11/22 frakciókra osztottuk, a 22,4 mm-nél nagyobb szemeket pedig elkülönítettük. Az így kapott két frakció esetében meghatároztuk az alkotó kőanyagok szemmegoszlását és a bitumentartalmat, majd kellő mennyiségű bitument nyertünk vissza az MSZ EN 12697-3 szabványnak megfelelően, az előregedett bitumenek vizsgálatához.

Az alapanyagok szükséges vizsgálatának elvégzése után megkezdődhetett a keveréktervezés, azt követően pedig a laboratóriumi keverések és a kész aszfaltok vizsgálatai. Az alapanyagok összetételét a 2. táblázat mutatja be, míg az elkészített keveréktervek szerinti adagolásokat a 3. táblázatban láthatjuk.

2. táblázat. A bemutatott két aszfaltkeverékhez felhasznált alapanyagok szemmegoszlása és bitumentartalma.

Alapanyag megnevezése	Mész-kőliszt	Gánt NZ 0/4	Gánt NZ 4/11	Gánt NZ 11/22	11 RA 0/8	22 RA 0/16
<b>Szitaméret (mm)</b>	<b>Kőanyag szemmegoszlás, átesett rész [tömeg%]</b>					
41,5	100	100	100	100	100	100
32	100	100	100	100	100	100
22,4	100	100	100	98	100	100
16	100	100	100	49	100	92
11,2	100	100	96	2	100	54
8	100	100	61	0	93	36
5,6	100	100	29	0	81	30
4	100	70	7	0	68	26
2	100	29	3	0	51	21
1	100	21	3	0	37	17
0,5	100	16	2	0	28	13
0,25	99	12	2	0	22	11
0,125	97	10	2	0	17	9
0,063	79,4	7,6	1,9	0,3	15,7	8,0
<b>Kötőanyag-tartalom [tömeg%]</b>	-	-	-	-	5,06	2,90

3. táblázat. A referencia keverék és a 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék keverékterv szerinti adagolási mennyiségei tömeg%-ban.

Alapanyag megnevezése	Adagolási mennyiségek keverékterv szerint (%)	
	AC 22 kötő (F) B 50/70	AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40
Mész-kőliszt	4	2
Gánt NZ 0/4	30	20
Gánt NZ 4/11	27	7

Gánt NZ 11/22	39	30
11 RA 0/8	0	17
22 RA 0/16	0	23
B 50/70	4,4	0
B 70/100	0	2,9

### 3. A VISSZANYERT ASZFALT ÉS AZ AZZAL GYÁRTOTT ÚJ ASZFALTKEVERÉK BITUMENTULAJDONSÁGAINAK ÖSSZEFÜGGÉSEI

A visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek kötőanyagának tulajdonságai nem csak a friss bitumen tulajdonságaitól, hanem az RA-ban lévő bitumen tulajdonságaitól is függenek: penetráció és lágyuláspont értékei meghatározhatók az MSZ EN 13108-1 szabvány 'A' mellékletében foglalt képletek alkalmazásával. Ezáltal előre becsülhető, hogy a visszanyérés útján megismert régi bitument és a friss bitument összekeverve milyen eredményekre számíthatunk, az megfelel-e majd a követelményeknek. A vonatkozó szabvány szerint az említett számításokat akkor kell alkalmazni, ha a visszanyert aszfalt kötőanyaga és a hozzáadott kötőanyag is útépitési bitumen. A keverékekben lévő kötőanyag penetrációjának, valamint lágyuláspontjának számítását a következő képletek (1) és (2) szerint lehet elvégezni:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix} \quad (1)$$

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

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;  $a + b = 1$ .

Kutatásunk során a laboratóriumi aszfaltkeverések előtt, az elkészült keveréktervek alapján elvégeztük a fent leírt számításokat annak érdekében, hogy meghatározzuk a készítendő visszanyert aszfalt tartalmú keverék bitumentulajdonságait, és kiválasszuk a keveréshez megfelelő friss bitument. A számítások elvégzéséhez négyféle bitumen - két normál útépitési bitumen és két, különböző visszanyert aszfalt frakcióból visszanyert bitumen - penetráció és lágyuláspont értékeit állapítottuk meg és használtuk fel (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). A hozzáadott és a visszanyert aszfaltból kinyert kötőanyag penetrációját az MSZ EN 1426 szabvány, lágyuláspontját pedig az MSZ EN 1427 szabvány szerint határoztuk meg. A vizsgálatokhoz szükséges előregedett bitument az MSZ EN 12697-3:2013+AI:2019 szabványban leírtakat követve nyertük vissza.

4. táblázat. A felhasznált normál útépitési bitumenek és a visszanyert aszfalt frakciók bitumenjeinek mért lágyuláspont és penetráció értékei.

Tulajdonság megnevezése	B 50/70	B 70/100	11 RA 0/8	22 RA 0/16
Lágyulás pont (°C)	50,8	45,2	68,1	71,7
Penetráció (0,1 mm, 25°C)	56	82	30	27

Két lehetséges keverék tulajdonságait számítottuk ki a kapott eredmények fényében. Mindkét esetben azonos volt a keverékbe kerülő visszanyert aszfalt mennyisége (40 %), és ezáltal a hozzáadott és a

viSSZanyert aszfaltban lévő bitumenek aránya is. A különbséget egyedül a friss bitumen típusa jelentette: az első keverékbe (AC 22 kötő (F) B 50/70 RA40) a referenciakeverékkel megegyező bitument, B 50/70-es normál útépítési bitument terveztünk, míg a második esetben (AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40) egy lágyabb bitumen alkalmazásával, B 70/100-as normál útépítési bitumennel számítottuk ki a keverék bitumen elegyének tulajdonságait (5. táblázat).

5. táblázat. A két elméleti aszfaltkeverék bitumen keverékének számolt lágyuláspont és penetráció értékei.

Tulajdonság megnevezése	AC 22 kötő (F) B 50/70 RA40	AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40	B 50/70 határérték
Lágyuláspont (°C)	57,3	53,6	46-54
Penetráció (0,1 mm, 25°C)	44	57	50-70

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a B 50/70-es hozzáadott bitumen használatakor sem a keverék penetráció, sem a lágyuláspont értéke nem esik a B 50/70-es bitumen megengedett határértékei közé amennyiben 40% RA-t adtunk a keverékhez. A második keverék esetében, B 70/100-as hozzáadott bitumen alkalmazásakor a lágyuláspont és a penetráció értékek viszont már megfelelnek a B 50/70-es bitumennel készített AC 22 kötő (F) típusú keverékek felé támasztott követelményeknek. A számításokból levonható a következtetés, miszerint a felhasználni kívánt viSSZanyert aszfalt frakciókhoz (a megfelelő kőanyagokon kívül) a lágyabb, B 70/100-as bitument kell felhasználni a tervezett AC típusú keverék elkészítéséhez. Ekkor az új és a viSSZanyert aszfaltban lévő előregedett bitumen keverékének tulajdonságai meg fogják felelni a B 50/70-es útépítési bitumen követelményeinek, amely felhasználásával készítjük a referencia aszfaltkeveréket is.

Az elvégzett számítások helyességét igazolják a laboratóriumi keverésből származó RA tartalmú aszfaltból viSSZanyert bitumenkeverék vizsgálati eredményei (6. táblázat). A vizsgálat során megállapított értékek csak kis mértékben térnek el a számítottaktól, vagyis az alapanyagok tulajdonságainak meghatározása kellően pontosra sikerült ahhoz, hogy akár az elvégzett számításokkal jellemezzük a készített új aszfaltkeveréket, ezzel megtakarítva a keverékből történő bitumenviSSZanyerés idejét és energiabefektetését.

6. táblázat. A 40 % RA tartalmú AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40 aszfaltkeverék bitumenjének szabvány szerint számított és viSSZanyerés után mért lágyuláspont és penetráció értékei.

Tulajdonság megnevezése	Számolt értékek	Mért értékek	B 50/70 határérték
Lágyuláspont (°C)	53,6	55,2	46-54
Penetráció (0,1 mm, 25°C)	57	51,2	50-70

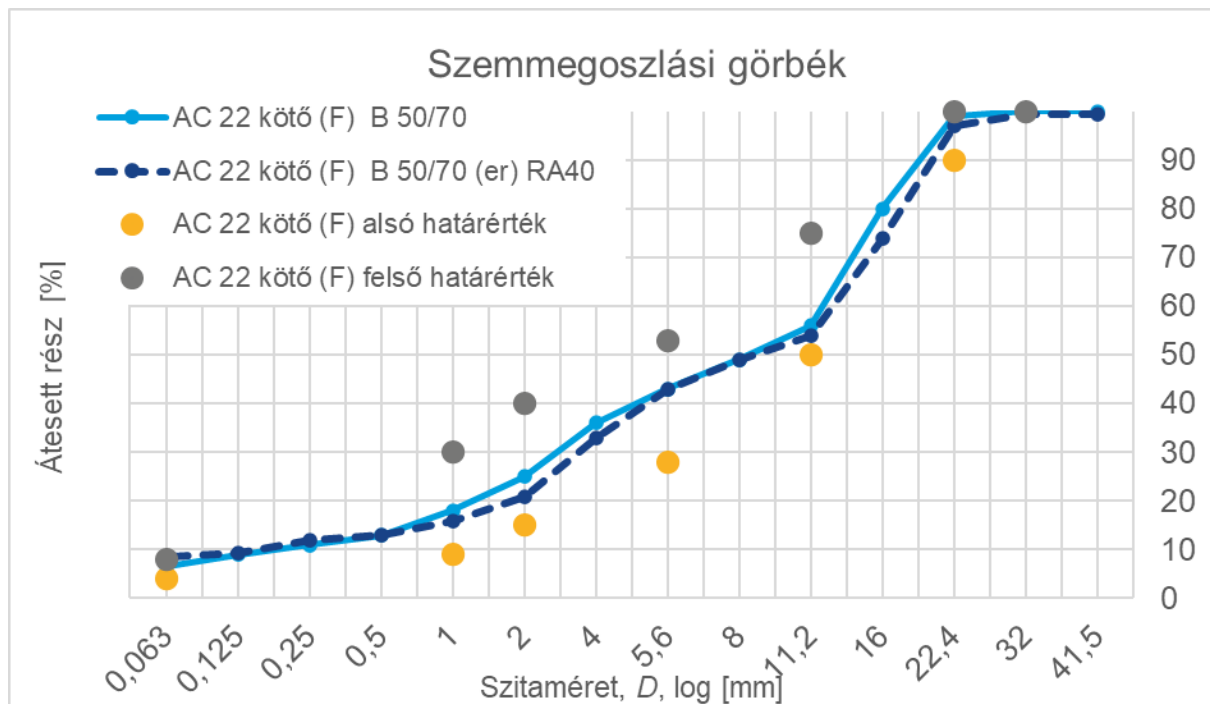
#### 4. A REFERENCIA ÉS A VISSZANYERT ASZFALTOT TARTALMAZÓ KEVERÉK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA

Az elkészített aszfaltkeverékeken először szemmegoszlás és oldható kötőanyagtartalom meghatározást, majd számos aszfaltmechanikai vizsgálatot végeztünk azok teljesítőképességének összehasonlítására, valamint annak megállapítására, hogy a 40 % RA tartalmú, B 70/100-as bitumennel készített AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40 jelű aszfaltkeverék teljesíti-e a referenciakeverékként is alkalmazott keverékre (AC 22 kötő (F) B 50/70) vonatkozó előírások követelményeit.

##### 4.1. SZEMMEGOSZLÁS ÉS OLDHATÓ KÖTŐANYAGTARTALOM

Az aszfaltkeverékek egyik legfontosabb jellemzője a szemmegoszlás, amelyre szigorú előírások vonatkoznak. Ebből kifolyólag először ezt a tulajdonságot határoztuk meg mind a referencia keverék, mind pedig a viSSZanyert aszfalt tartalmú keverék esetén, hiszen csupán ezek megfelelésekor érdemes vizsgálni az aszfaltkeverék további jellemzőit.

A megállapított szemmegoszlásokat és az *e-UT 05.02.11* előírás által meghatározott határértékeket összevetve elmondható, hogy mindkét keverék teljesíti az ilyen irányú követelményeket (1. ábra). A visszanyert aszfalt frakciókból vételezett mintákkal kellőképpen jellemezni lehetett azok szemmegoszlását a keveréktervezéshez. Megfelelően homogénnek bizonyultak, mivel azokat a keverés során nagy mennyiségben felhasználva sem okozták a keverék szemmegoszlásának jelentős megváltozását (pl. túlzott finomodás). Ennek eredményeként sikerült olyan RA tartalmú keveréket létrehozni, amely szemmegoszlását tekintve hasonlít a referencia keverékhez. Ezzel lehetővé vált a további tulajdonságok összehasonlítása is, mivel ezek alapján az esetleges különbségek nem a szemmegoszlások közötti jelentős eltérésekből adódnak, ha lesznek.



1. ábra. A vizsgált két keverék szemmegoszlás görbéinek viszonya a vonatkozó határértékekhez.

#### 4.2. TESTSŰRŰSÉGEK ÉS HÉZAGTARTALOM

Az elkészített kétféle aszfaltkeverék összehasonlításának következő lépcsőjeként azok testsűrűségét és hézagjellemzőit vizsgáltuk a vonatkozó szabványok szerint (*MSZ EN 13 108-20 C.1.2, 2x50 ütés, MSZ EN 12697-6, MSZ EN 12697-5, MSZ EN 12697-8*). Az eredményeket a 7. táblázat foglalja össze. A két keverék között a vizsgált paraméterekben nincs különbség, testsűrűségük és hézagmentes testsűrűségük közel azonos, szabadhézag-tartalmuk között pedig csekély 0,4 %-os eltérés mutatkozott meg, ami elhanyagolhatónak mondható. Az adatok alapján megállapítható, hogy mindkét keverék teljesíti a hézagjellemzők felé támasztott követelményeket, megfelelnek az *e-UT 05.02.11*-ben foglaltaknak (szabadhézag-tartalom 3-5 % között). Ezen mérési eredményekkel is alátámasztható a sikeres keveréktervezés és laborkeverés, hiszen a precíz munkának és a gondos alapanyagválasztásnak, vizsgálatoknak köszönhetően értük el ezeket a közel azonos jellemzőket.

7. táblázat. A referencia keverék és a 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék testsűrűsége, hézagmentes testsűrűsége és szabadhézag-tartalma.

Minta megnevezése	AC 22 kötő (F) B 50/70	AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40
Testsűrűség, $\rho_{tSSD, \text{átl}}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,497	2,494

Hézagmentes testsűrűség átlag, $\rho_{mv, \text{átl}} [\text{Mg/m}^3]$	2,615	2,624
Szabadhézag-tartalom, $V_m [\%]$	4,5	4,9

#### 4.3. VÍZÉRZÉKENYSÉG

A keverékek vízerzékenységét (ITSR) 3-3 száraz, illetve nedves próbatest hasító-húzó szilárdsági értékeiből állapítottuk meg. AC 22 kötő (F) jelű keverékek esetén az *e-UT 05.02.11* alapján a vízerzékenység alsó határértéke  $\text{ITSR}=80\%$ . A 8. táblázatban bemutatott eredményeken jól látszik, hogy a referencia és az RA tartalmú keverék vízerzékenysége egyaránt teljesíti ezt a követelményt. Az ITSR érték ugyanolyan jónak mondható mindkét esetben, az ásványi anyag és az aszfalt kötőanyag közötti tapadás kiváló.

8. táblázat. A referencia keverék és a 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék vízerzékenységének meghatározása.

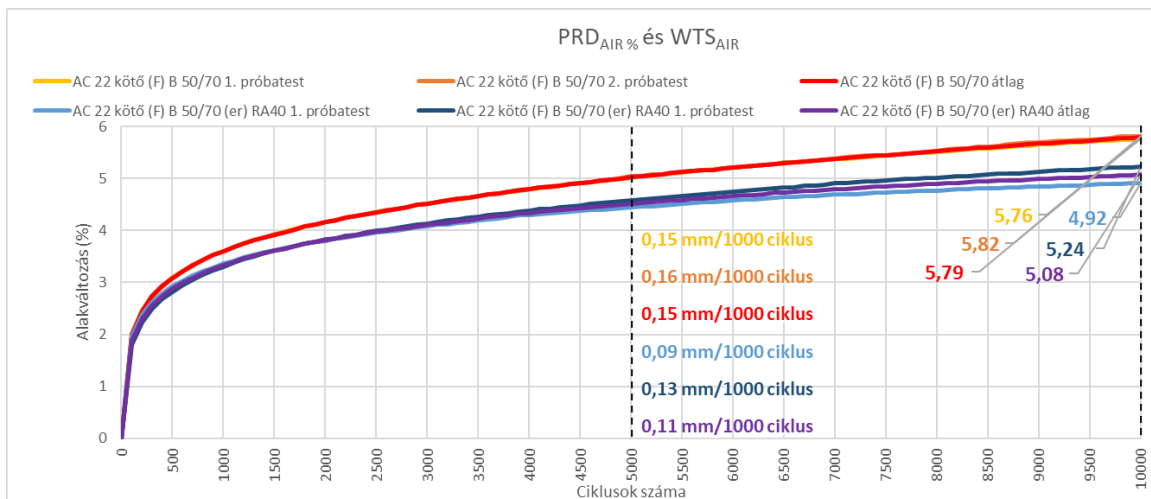
Minta megnevezése	AC 22 kötő (F) B 50/70	AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40
Vizsgálati hőmérséklet [°C]	25	25
ITSR [%]	84,3	85,5

#### 4.4. MARADÓ ALAKVÁLTOZÁSSAL SZEMBENI ELLENÁLLÁS BEMUTATÁSA

Az AC 22 kötő (F) jelzetű aszfaltkeverékek egyik fontos követelménye a maradó alakváltozási ellenállás, előírás szerinti felső határértéke  $\text{PRD}_{\text{AIR}} = 7\%$ . A készített keverékek esetén 2-2 mintán végeztük el a vizsgálatot 10 000 terhelési cikluson keresztül az *MSZ EN 12697-22* szabványnak megfelelően, kiskerekes berendezéssel. A 2. ábra a levegőn vizsgált anyagoknak a mérő program által meghatározott fajlagos nyommélységét, valamint azok átlagait mutatja adott terhelési ciklusban. A visszanyert aszfalt tartalmú keverék jobb maradó alakváltozási hajlamot mutat ( $\text{PRD}_{\text{AIR, átlag}} = 5,08\%$ ), mint a referencia keverék ( $\text{PRD}_{\text{AIR, átlag}} = 5,79\%$ ), ám a kettő közötti eltérés viszonylag kisméretű. A kapott adatok alapján a  $\text{WTS}_{\text{AIR}}$  értékeket megvizsgálva elmondható (2. ábra), hogy a keréknyomképződési görbe hajlásszöge (vagyis a terhelt kerék ismételt áthaladása alatti nyommélység növekedés átlaga 1000 terhelési cikluson levegőn vizsgálva) az RA tartalmú keverék esetén kisebb (átlagban 0,11 mm/1000 ciklus), mint a referencia keverék esetén (átlagban 0,15 mm/1000 ciklus).

A két keverék plasztikus deformációs hajlama közötti különbségek kismértékűek, a vizsgált tulajdonság szempontjából közel azonosnak mondhatóak. A mérések azt mutatják, hogy a 40 % visszanyert aszfalt felhasználása esetén jól megválasztott hozzáadott bitumennel a referencia keverékkel egyenértékű keveréket sikerült tervezni.





2. ábra. Plasztikus deformációs hajlam vizsgálata kiskerekű berendezéssel levegőn AC 22 kötő (F) B 50/70 és AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40 aszfaltkeverékek esetén.

#### 4.5. MEREVSÉG BEMUTATÁSA

A keverékek laboratóriumi jellemzése során hasító-húzó vizsgálatot végeztünk henger alakú aszfalt próbatesteken (IT-CY) az MSZ EN 12697-26 szabványban leírtaknak megfelelően.

A merevségi modulus függ a kötőanyag tartalomtól, annak tulajdonságaitól, a fázisos összetételtől, hézagtartalomtól. A referencia keverék merevségi modulus értéke 4810 MPa, míg a visszanyert aszfaltot tartalmazó 5805 MPa (9. táblázat). A visszanyert aszfaltban lévő bitumen merevebb, magasabb lágyuláspontú, mint a referencia keverékben használt B 50/70-es bitumen, ami magyarázhatja a kis mértékű eltérést a merevségi modulusok között. Az eredmények alapján megállapítható továbbá, hogy a 40 % RA tartalmú keverék készítésekor felhasznált B 70/100-as bitumen lágyító hatása megmutatkozott, közepes hőmérsékletű tartományban az RA-s keverék merevsége kis mértékben magasabbnak adódott, mint a referencia keverék.

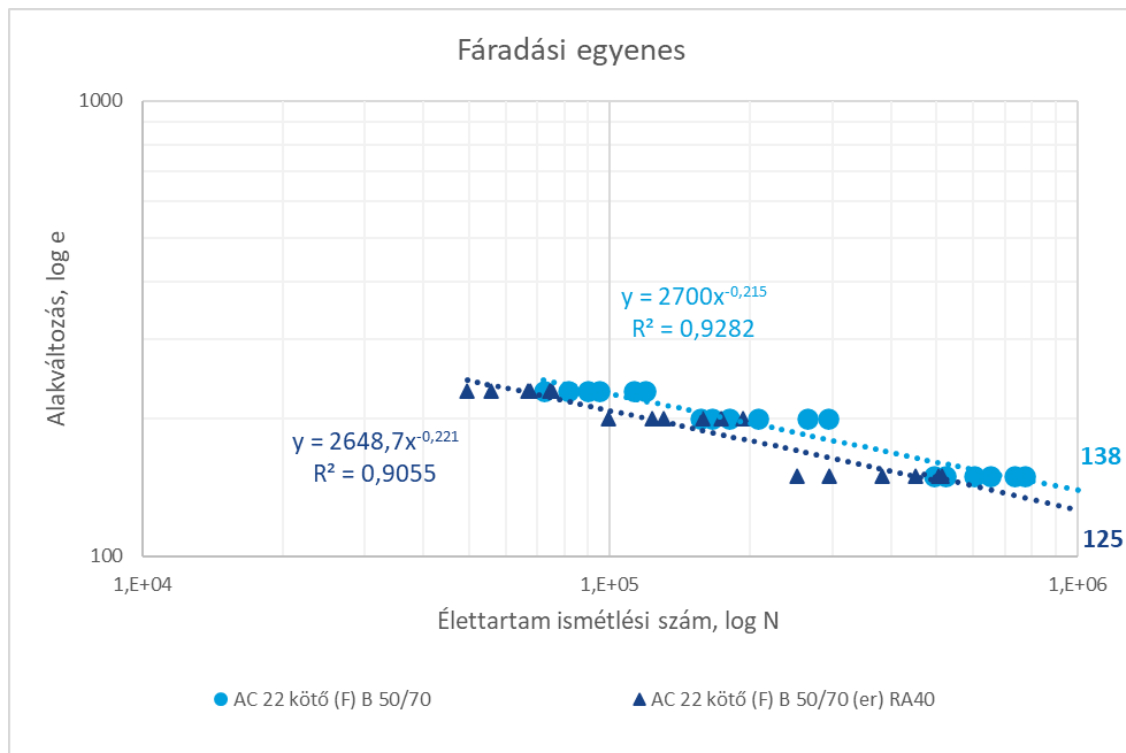
Az eddig bemutatott vizsgálati eredmények alapján elmondható, hogy a két keverék hézagtartalma azonos, a laborkeverések elvégzése, valamint a próbatestek készítése is azonos körülmények között történt, így a merevségi modulus közötti kis mértékű különbséget a kötőanyagok közötti eltérés és a mérési bizonytalanság is okozhatta.

9. táblázat. A referencia keverék és a 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék hasító-húzó vizsgálat során kapott merevségi modulus értékei.

Vizsgálati jellemzők	AC 22 kötő (F) B 50/70	AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA40
Terhelés-felület faktor	0,66	0,66
Vízszintes deformáció [µm]	5,95	5,95
Felfutási idő [ms]	125	125
Mért merevség [MPa]	4645	5567
Merevségi modulus [MPa]	4810	5805

#### 4.6. FÁRADÁSI ELLENÁLLÁS BEMUTATÁSA

Az elkészített, AC 22 kötő (F) B 50/70 és AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA 40 jelű keverékek fáradási ellenállását az MSZ EN 12697-24 szabványban leírtak szerint négyponos hajlítóvizsgálattal határoztuk meg hasáb alakú próbatesteken. A kapott eredmények kiértékeléséhez készített fáradási egyeneseket a 3. ábra mutatja. Megállapítható, hogy a két egyenes hasonló lefutású, a  $10^6$  ciklushoz tartozó alakváltozás értékek (138  $\mu$ strain és 125  $\mu$ strain) pedig közelítőleg egyeznek, vagyis az előállított keverékek fáradási ellenállásukat tekintve közel azonosnak tekinthetők. A fáradási ellenállásra a vonatkozó útügyi műszaki előírás nem ad meg határértéket, mégis a tapasztalatok alapján elmondható, hogy AC 22 kötő (F) jelzetű keverékekre a 100-150  $\mu$ strain közötti  $10^6$  ciklushoz tartozó fajlagos megnyúlás érték a jellemző, ami arra enged következtetni, hogy az elkészített keverékek fáradási ellenállása megfelelő.



3. ábra. A referencia keverék és a 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék fáradási egyenese a négyponos hajlítóvizsgálat eredményeiből meghatározva.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az itt bemutatott kutatás középpontjában a korábbi évek gyakorlatát meghaladó mennyiségű visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése, valamint ezek keverése és tulajdonságainak referencia keverékkel történő összehasonlítása áll.

A tervezés folyamán a visszanyert aszfalt kőanyagának szemmegoszlás meghatározása mellett az abban található bitumen vizsgálatait is el kell végezni. Ez utóbbit figyelembe véve kell eldönteni, hogy a keveréket milyen kategóriájú útépitési bitumennel kell elkészíteni ahhoz, hogy az új aszfaltkeverékben lévő kevert bitumen megfeleljen az adott aszfaltkeverék típusához felhasználható friss bitumen követelményeinek. Kutatásunk során megállapítottuk, hogy kellően pontos alapanyagvizsgálat esetén a készítendő új aszfaltkeverék tulajdonságait megbízhatóan jellemezhetjük az MSZ EN 13180-1 szabványban foglalt számításokkal, melyek alapján eldönthetjük, hogy milyen keménységű bitumen használandó a keverékben.

Az itt ismertetett kutatásban egy magas %-ban visszanyert aszfaltot tartalmazó és egy referencia keverék tulajdonságait vizsgáltuk (AC 22 kötő (F) B 50/70 (er) RA 40 és AC 22 kötő (F) B 50/70). Az eredményeket a következőkben összegezzük:

- Mindkét keverék szemmegoszlása megfelel az AC 22 kötő (F) típusú aszfaltkeverékek az *e-UT 05.02.11* előírásban foglaltak szerinti követelményeinek. Nem okozott problémát az, hogy a kőanyag jelentős része visszanyert aszfaltból származik: a frakciók homogénnek bizonyultak, így a keverékterveknek megfelelő aszfaltkeverékek voltak előállíthatóak.
- A vizsgált keverékek testsűrűsége, hézagmentes testsűrűsége és szabadhézag-tartalma között elhanyagolható mértékű különbségek mérhetőek, és teljesítik a hézagjellemzők felé támasztott követelményeket.
- A vízérzékenység vizsgálat alapján elmondható, hogy az ásványi anyag és az aszfalt kötőanyag közötti tapadás nem csak a referencia keverék, hanem a 40 % visszanyert aszfaltot tartalmazó keverék esetén is megfelelő. Az ITSR érték ugyanolyan jónak és megfelelőnek mondható mindkét keveréktípusnál.
- A maradó alakváltozási hajlamok között csak kisméretű különbség figyelhető meg. A vizsgált tulajdonságok ( $PRD_{AIR}$ ,  $WTS_{AIR}$ ) szempontjából közel azonos a két keverék, a 40 % visszanyert aszfalt felhasználása csak csekély mértékben befolyásolja az aszfalt maradó alakváltozási hajlamát.
- A két keverék merevsége már nem tekinthető teljesen azonosnak, közöttük kb. 1000 MPa eltérés mérhető 20 °C-on. Ez alapján megállapítható, hogy a B 70/100-as bitumen a visszanyert aszfalt bitumenjének merevségét kompenzálja, azonban ez a lágyuláspont változásának mértékével nem feltétlenül arányos.
- A 40 % visszanyert aszfalt tartalmú keverék fáradási ellenállása azonosnak tekinthető a referencia keverék fáradási ellenállásával, a két keverék fáradási egyenese hasonló lefutású.

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az előregedett útépítési bitumen teljesítményét lehetséges egy lágyabb útépítési bitumennel kompenzálni, mivel a visszanyert aszfalttal készült keverék teljesítményét tekintve az elvégzett vizsgálatok során nem mutatkozott szignifikánsan alacsonyabbnak, mint a visszanyert aszfaltot nem tartalmazó referencia keverék. Az eredmények alátámasztják, hogy a megfelelő előkészítés és feldolgozás lehetővé teszi a visszanyert aszfalt felhasználását aszfaltkeverékekben az eddigi gyakorlatot meghaladó mennyiségben is.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00060 számú projekt 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 kutatás a Hódmezővásárhelyi Útépítő Kft. központi laboratóriumában valósult meg, a szükséges alapanyagokat a Hódút Freeway Kft. biztosította.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Milad, A., M. A. Taib, Ahmeda, A., M. Solla, N. & I. Md. Yusoff. 2020: A Review of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement for Road Paving Applications, *Jurnal Teknologi*, (pp. 36-37), <https://doi.org/10.11113/jt.v82.14320>.

[2]: HAPA. 2014: Visszanyert aszfalt felhasználása aszfaltkeverékekben, A Magyar Aszfaltipari Egyesülés (HAPA) Környezetvédelmi Munkacsoportja.

[3]: EAPA (European Asphalt Pavement Association). 2018: Recommendations for the use of rejuvenators in hot and warm asphalt production.

[4]: NAPA (National Asphalt Pavement Association). 1996: Recycling Hot Mix Asphalt Pavements, Information Series 123.

[5]: Visnyovszky, Á. 2016: Benninghoven: Törtaszfalt visszaadagoló rendszerek, *Az Aszfalt XX. évfolyam*.

[6]: EAPA (European Asphalt Pavement Association): Asphalt in figures 2020.

[7]: Somogyvári, L. 2021: Visszanyert aszfalt keverőtelepi újrahasznosítása hideg eljárással, Az Aszfalt XXVIII. évfolyam, pp.:50-51.