



Magas visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek műszaki feltételei

Tóth Csaba¹, Pethő László²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Út és Vasútépítési Tanszék

² Fulton Hogan Infrastructure Services, 180 Burnside Road, Ormeau, 4208, QLD, Australia

E-mail: toth.csaba@emk.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.05](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.05)

KIVONAT

Egyrészt a gazdaságot, ezen belül az építőipart és az aszfaltgyártást közvetlenül is érintő energiahatékonysági kérdések, illetve károsanyagkibocsátás csökkentési elvárások, másrészt a visszanyert aszfalt újhasznosítására vonatkozó hazai szabályozás küszöbön álló átalakítása indokolja, hogy az aszfaltkeverékek újrahhasznosítás kapcsán felmerülő kérdéseket átfogó cikkben tekintsük át.

A cikk célja annak hangsúlyozása, hogy a környezetvédelmi, műszaki és gazdasági értelemben sikeres visszanyert aszfalt újrahhasznosítás olyan komplex rendszer kialakítását és precíz működtetését igényli, amelynek főbb elemei: *megfelelő kiírás - visszanyerés - tárolás - kezelés - tervezés - gyártás - kivitelezés - monitoring*.

Az alábbiakban ugyan eltérő kidolgozottsággal, de egységes szemlélettel igyekszünk áttekinteni a visszanyert aszfalt tartalmú keverékek gyártásának legfontosabb feltételeit, a fenti elemek közül a visszanyeréstől a gyártásig tartó szakaszra összpontosítva.

Ennek értelmében a visszanyert aszfalt feldolgozása és keveréktervezése mellett hangsúlyosan foglalkozunk a depóniamenedzsment fontosságával, illetve a gépészeti megoldásokról is általános áttekintést adunk. A hazai gyakorlat számára hasznosnak vélt nemzetközi tapasztalatok megosztása mellett, végül az érvényes és a tervezett magyar műszaki szabályozás néhány sarkalatos pontjáról is véleményt formálunk.

Kulcsszavak: visszanyert aszfalt, keverőtelepi felhasználás, magas RA adagolás, keveréktervezés, RA depóniamenedzsment

ABSTRACT

Asphalt recycling has been an important topic worldwide to address high energy consumption and save natural resources in hot mix asphalt production for road construction. While the use of reclaimed asphalt (RA) has been growing in Europe and other parts of the world, its application has been very limited in Hungary. Environmental requirements are getting stricter and there is an ongoing need for reducing greenhouse gases (GHG), therefore this paper discusses and summarizes the main elements of the complex system around asphalt recycling in hot mix asphalt manufacturing. Details are provided on asphalt mix design, asphalt plant capability and RA stockpile management in a practical manner to raise awareness of the topic and provide details for the wider industry.

Keywords: reclaimed asphalt, asphalt plant applications, high proportion RA, asphalt mix design, RA stockpile management

Dr. Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében, valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 100.

Dr. Pethő László

PhD, MSc, okl. építőmérnök, több mint 20 éves szakmai tapasztalatát az aszfaltútépítésben és kutatásban Magyarországon és Európában, valamint Ausztráliában szerezte. Ipari kutatás-fejlesztési munkái során nagy teljesítményű aszfaltok tervezésével és azok pályaszerkezet-ben való viselkedésével foglalkozik.

1. ELŐZMÉNYEK

Az aszfalt pályaszerkezetből visszanyert aszfalt (reclaimed asphalt - RA, vagy reclaimed asphalt pavement - RAP) keverőtelepi újra hasznosításának kérdése hazánkban is évtizedek óta az érdeklődés homlokterében áll, de annak mértéke Magyarországon és a régióban sajnos még napjainkban is minimális. Az útfelújítások jelentős hányadában az elbontott pályaszerkezeti aszfaltrétegekből marással vagy bontással visszanyert aszfaltot az útépités csupán burkolatalapba vagy padkába beépítve használja fel. Jelentős mennyiség halmozódott fel az elmúlt évtizedek alatt a mérnökségi telepeken is, amelyek jövőbeli sora nem ismert. Ez az eljárás nemzetgazdaságilag kedvezőtlen megoldást jelent, ugyanis törekedni kellene arra, hogy az újrahasznosítható anyagok a teljesítőképességüknek megfelelő lehető legmagasabb műszaki színvonalú rétegekben kerüljenek felhasználásra infrastrukturális beruházások kapcsán. Ennek a problémának a legkézenfekvőbb megoldása a visszanyert aszfalt hozzáadagolásával készült aszfaltkeverékek használata.

A visszanyert aszfalt hozzáadásával készített keverékek fő nemzetgazdasági és környezetvédelmi előnyei: az elsődleges nyersanyagok (zúzottkő) kitermelésének csökkentése, egyéb alapanyagok (kötőanyag, adalékanyag) mennyiségének csökkentése, szállítási költségek és ezáltal a karbonlábnyom minimalizálása, annak megannyi környezetkímélő tulajdonságával egyetemben. Ennek pozitív hatását pedig ma már nem is kell külön hangsúlyozni.

Magyarországon szinte az összes aszfaltkeverő telep fel van szerelve a visszanyert aszfalt adagolásához szükséges technológiával (jellemzően a keverő teknőbe való közvetlen adagolással), de ott is, ahol ez lehetséges, a legtöbb esetben keverékenként a technológiai határ mindössze legfeljebb 10-15%-os visszaadagolási arány. A kismértékű visszaadagolási lehetőség miatt azonban a visszanyert aszfalt megfelelő előkészítésére gyakran kisebb figyelem irányul, ami gyakran okoz minőségi problémákat, és a visszaadagoláshoz, sajnálatos módon, negatív sztereotípiákat kapcsol. Ezen előítéletek leküzdése még ma is fontos feladat.

Az EU a visszanyert aszfalt keverőtelepi felhasználását javasolja, fejlettebb országokban a visszaadagolási arány a hazai gyakorlatnál lényegesen magasabb, jellemzően átlagosan 30% feletti, projekt szinten pedig ettől jelentősen magasabb is lehet. Ennél a magasabb visszaadagolási aránynál már látványosan kirajzolódnak a visszaadagolásban rejlő előnyök, amelyek nemcsak környezetvédelmi és energetikai oldalon számszerűsíthetőek, de – a pusztán elsődleges nyersanyagokból álló keverékekhez képest – a gyártott keverék műszaki paraméterei is javulhatnak.

A probléma súlyát azonban jól mutatja, hogy az M1-es autópálya rehabilitációja – és várhatóan a jövőben egyéb autópályák és gyorsforgalmi utak felújítása – során keletkező nagy mennyiségű, visszanyert aszfalt hasznosításának módja is kérdéses. Erre a problémára is választ keresve, kutatásfejlesztési projekt keretében foglalkoztunk a magas visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékek gyártásának gépészeti kérdéseivel, a mart aszfalt szükséges előkészítésének,

feldolgozásának és tárolásának feltételeivel (RA depóniamenedzsmen), a nagytömegű gyártás, a keveréktervezés, illetve a beépítés vizsgálatával.

A nagyobb arányú visszanyert aszfaltot tartalmazó keverékek, az alapvető célkitűzések szerint, ugyanolyan teljesítménnyel rendelkeznek, mint a visszanyert aszfalt nélkül gyártott keverékek, azonban elviekben alacsonyabb áron lehet előállítani. Jelen cikkben ugyan csak az egyenértékűséget hangsúlyozzuk, azonban mind a kutatási eredmények, mind pedig nemzetközi gyártási és beépítési tapasztalatok azt igazolják, hogy mintegy 30 %-os visszaadagolási arány felett, a visszanyert aszfaltból előállított, megfelelően tört és osztályozott frakciók felületén maradt bitumennek (is) köszönhetően, megjavul a kötőanyag tapadása, így a keverék vízállóság és merevsége is. Ugyanakkor a régi bitumen kedvezőtlen hatásait ellensúlyozandóan, alkalmazott lágyabb bitumennek köszönhetően jobb a fáradás és érzékelhetően kedvező irányba változik a bedolgozhatóság is. A sikeres felhasználás előfeltétele a rutinszerű aszfaltgyártásnál megszokottól gondosabb folyamatmenedzsmen.

Általánosságban megfogalmazható, hogy az aszfalt újrahasznosítás főbb, mérhető előnyei az alábbiak:

- az új bitumen fogyasztásának minimalizálása,
- az új zúzalék és mészköliszt felhasználási arányának csökkentése,
- alacsonyabb energiaköltségek (összességében, a teljese folyamatra nézve),
- a környezet csökkenő terhelése,
- változatlan aszfaltminőség, ellenőrzött körülmények között.

A cikk bemutatja, hogy a visszaadagolás számos paraméter függvénye, és kitér a visszanyert aszfalt szükséges előkészítésének, feldolgozásának és tárolásának feltételeire, továbbá a keverőteleppel szemben támasztott követelményekre is, a felhasználási arány függvényében. Amennyiben az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése és gyártása megfelelő módon történik, akkor teljesítményüket tekintve egyenértékűek az ugyanolyan típusú visszanyert aszfaltot nem tartalmazó melegen hengerelt aszfaltkeverékekkel. A nagy RA-tartalmú aszfaltkeverékek egyenértékűségére nem tér ki, arról bővebben korábbi írásokból lehet tájékozódni, amelyek eloszlatják azon kételyeket, hogy a magas RA-tartalmú keverékek alacsonyabb teljesítménnyel rendelkeznek [1, 2].

Az energiafelhasználás szempontjából rendszerszemléletben tekintve az útépítést, kitűnik, hogy az aszfalt újra hasznosításánál (recycling) magasabb szintű megoldást jelent a hulladék keletkezésének megelőzése (avoid). Ezt hosszú élettartamú pályaszerkezetek tervezésével és építésével lehet elérni. Ebben az esetben, bár nagyobb lehet a kezdeti bekerülési költség, a teljes életciklus alatt nem, vagy csak minimális mértékben keletkezik hulladék, ezzel a teljes hulladékegyenleg ekkor lesz a legkevesebb. A közvetkező opció az újra felhasználás (reuse), de ez az aszfaltútépítésben nemigen értelmezhető. Az újrahasznosítás, a régi aszfalt feldolgozása után új aszfaltba való beadagolása, már annál inkább. Az aszfalt a világon a legnagyobb mértékben újra hasznosított építési anyag, és mivel 100 %-ban újra hasznosítható, nagy valószínűséggel az is marad.

Németország és Franciaország hatalmas mennyiségű, 11,6 millió tonna, illetve 6,0 millió tonna aszfaltot hasznosít újra évről évre, mégpedig keverőtelepi melegaszfalt gyártása során. Magyarországon ez a szám 157 ezer tonna, ami a teljes aszfaltgyártásunk átlagosan 3.2%-a. Az átlagos újrahasznosítás Németországban 25.6%, míg Franciaországban 12.8% volt 2021-ben [3]. Az 1. táblázat közli még Ausztria (10.5%), valamint az Egyesült Államok (21.9%) mennyiségeit és arányait is [4]. Érdekesség, hogy Japánban 2014-ben 55 millió tonna aszfaltot gyártottak, ahol az átlagos RA-felhasználás 47% volt [5].

1. táblázat. Aszfaltgyártás és RA felhasználás egyes országokban 2021-ben.

Ország	Az elérhető RA mennyisége (t)	Az elérhető RA %-os felhasználása az aszfaltgyártásban	Összes RA felhasználás az aszfaltgyártásban (t)	Teljes aszfaltgyártás (t)	Átlagos RA felhasználás az aszfaltban (%)
Magyarország	160,000	98	156,800	4,900,000	3.2
Németország	11,600,000	84	9,744,000	38,000,000	25.6
Franciaország	6,042,000	76	4,591,920	35,900,000	12.8
Ausztria	900,000	85	765,000	7,300,000	10.5
Egyesült Államok	N/A	N/A	94,600,000	432,000,000	21.9

A magas RA-felhasználás rendszerszintű gondolkodást igényel, beleértve a pályaszerkezeti aszfaltrétegek és azok bitumen típusának megválasztását is. Például, a németországi útépités, a magyarországi gyakorlattal szemben, alsó alap- és alaprétegeként elsődlegesen útépitési bitument használ, modifikálás nélkül. Ennek jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni, szemben a magyar gyakorlattal, amelyben számos esetben indokolatlanul alkalmaz modifikált kötőanyagú keverékeket, nemcsak szükségtelenül növelve az építési költséget, de a jövőbeli újrahasznosítás lehetőségét is korlátozva. A németországi rendszert azonban az újrahasznosítás szempontjából erre építették fel. Felmerülhet a gondolat, hogy ez „túl” egyszerű rendszer, mivel nem jelent műszaki kihívást újrahasznosított aszfaltot normál útépitési bitumennel készült aszfaltban felhasználni. Lehet, hogy a technológia egyszerűbb, azonban a technológia lehetőségei mellett, fel kellett egy rendszert építeni a tervezésre, a vizsgálatra, a gyártásra és a kivitelezésre. Úgy tűnik sajnos, hogy ez a rendszerszintű szemlélet hiányzik a hazai aszfaltútépitésben.

A jelenlegi magyarországi gyakorlat, amelyben csak 3.2%-nyi aszfaltot hasznosítanak újra, remélhetőleg a jövőben változni fog. A viszonylag alacsony, 15% alatti márt aszfalt felhasználásra a keverőtelepek többsége már évtizedek óta alkalmas, ez a kapacitásmutató azonban a ténylegesen felhasznált RA mennyiségben nem tükröződik. Nehezen magyarázható, hogy a megrendelői oldal miatt nem használta ki jobban az elmúlt évtizedekben az újrahasznosításban rejlő lehetőségeket.

2. A MAGAS RA-TARTALMÚ ASZFALTKEVERÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

Ebben a cikkben következetesen az európai RA-jelölést alkalmazzuk, nem pedig az angolszász gyakorlatban megszokott RAP-jelölést, még akkor is, ha angol publikációra hivatkozunk. Az RA-jelölést következetesen arra az esetre alkalmazzuk, ahol a pályaszerkezetből visszanyert aszfalt törés és osztályozás útján létrejött, homogén és frakcionált végtermék. Ez tehát végtermék az RA feldolgozása szempontjából, és alapanyaga az aszfaltgyártásnak.

El kell oszlatnunk azt a közgondolkodásban elterjedt félreértést, hogy a magas RA újrahasznosítás 100%-os felhasználást jelent. Habár elviekben lehetséges 100%-ban RA-val gyártott aszfaltkeverék előállítás, ez azonban elsősorban gépészeti szempontból jelent rendkívüli kihívást az alapanyagok hevítése miatt és bár a világ számos pontján ezt a lehetőséget már igazolták, ezek gyakorlati jelentősége alacsony, és nagy volumenű gyártásra alkalmatlan.

A magas RA-tartalom a gyakorlatban 30% feletti RA-adagolást jelent, és gépészműszaki szempontból, mintegy 80%-ig terjed. Megjegyzendő, hogy a 80% is csak különlegesen megtervezett és felszerelt aszfaltkeverőkkel lehetséges, amelyeknek száma jelenleg Európában is csekély.

Megjegyezzük, és később bővebben ki is fejtjük, hogy projekt szinten, a parallel dob technológia nélkül nem is igen lehet 40%-os RA-adagolás fölé menni. 2022. március elején az Osztrák Aszfaltipari Egyesülés (GESTRATA) online workshopot (Bauseminar) tartott, ahol elmondták, hogy az osztrák gyakorlatban a parallel dobokkal felszerelt keverőtelepeken, projekt szinten jellemzően 30-50%-os felhasználásig mennek el. Ne gondoljuk, hogy ez a szám alacsony, mint látni fogjuk, az ilyen szintű RA-adagolás már teljes, rendszerszintű működést igényel, és hozzájárul az országos átlag emeléséhez. A magas RA-alkalmazás három alappillére:

- Keveréktervezés, ami felújítás esetén az elbontandó szakasz aszfaltos rétegeinek elemzésével indul,
- géptechnológia (képesség),
- RA depóniamenedzsment.

Ezeket a következőkben részletesen tárgyaljuk.

3. KEVERÉKTERVEZÉS

A magas RA-tartalmú aszfaltkeverékek volumetrikus tervezésének menete teljes mértékben megegyezik bármely aszfaltkeverék tervezési eljárásával. Azonban a keveréktervezés szempontjából van egy kritikus elem, melyet a magas RA-tartalmú keverékek tervezésénél külön figyelembe kell venni, még a volumetrikus keveréktervezés előtt vagy annak során, ez pedig az eredő bitumen (bitumenelegy - binder blend) tervezése. A visszanyert aszfalt kötőanyagának öregedése miatt, szükséges lehet a visszanyert aszfalt "fiatalítása", "regenerálása" friss bitumen és/vagy rejuvenáló adalékszer hozzáadagolásával. Különösen fontos lehet ez régebben épült, fokozottan előregedett burkolatokból származó mart/bontott aszfalt esetében, illetve nagyobb arányú visszanyert aszfalt adagolása során. A "fiatalítás" és "regenerálás" szavak azonban megtévesztők lehetnek, hiszen ezekkel az adalékokkal kétféle célt lehet elérni, a bitumen kémiai összetételének módosítását és/vagy a bitumen teljesítményének és megfelelőségének módosítását. Itt az eredő bitumen tervezésén elsősorban az eredő bitumen teljesítményének és megfelelőségének biztosítását értjük. A tervezés fő elemei a következők.

- I. Az RA-ban lévő bitumen visszanyerése (ennek során homogén és reprezentatív mintához kell jutni). A visszanyerési eljárás lehetséges módszerei:
 1. extrahálás analízátorral (MSZ EN 12697-1 szerint) [6], visszanyerés szárítószekrényben,
 2. extrahálás analízátorral (MSZ EN 12697-1 szerint), visszanyerés forgó bepárlóval (MSZ EN 12697-3 szerint) [7],
 3. extrahálás mintatartóban, majd centrifugálás átfolyós centrifugával (MSZ EN 12697-3 szerint), visszanyerés szárítószekrényben,
 4. extrahálás mintatartóban, majd centrifugálás átfolyós centrifugával (MSZ EN 12697-3 szerint), visszanyerés forgó bepárlóval (MSZ EN 12697-3 szerint).

Az eljárás gyakorlati kivitelezéséről, azok előnyeiről és hátrányairól már hazai publikációk is elérhetőek [8, 9].

- II. Az eredő bitumen teljesítményének és megfelelőségének előre becsülő számítása – penetráció, lágyuláspont, rugalmas visszaalakulás, DSR viszkozitás vagy DSR komplex reológiai vizsgálatok alapján, ahol mind a használni kívánt alapbitument, mind az RA-ból kivont bitument előzetesen külön szükséges ezekre a paraméterekre vizsgálni. Gyakorlati példára, hazai publikációk szintén rendelkezésre állnak [2, 11].
- III. Homogén eredő bitumenek előállítása laboratóriumi keveréssel, laboratóriumi validáláshoz. Ezzel a folyamattal a használni kívánt alapbitumen és az RA-ból kivont bitumen valós elegyét hozzák létre, és a számítás eredményeit validálják. A témában már szintén van hazai publikáció, ezért ezeket a részleteket itt nem ismételjük meg [10, 11].

Bár az aszfaltkeverékekre vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] meghatároz volumetrikus és teljesítményelvű vizsgálati követelményeket, azonban a tervezés menetére általános útmutató sajnos nem áll rendelkezésre. A keveréktervezés volumetrikus paramétereire vonatkozó utolsó, ilyen jellegű útmutatót Nemesdy publikálta [13, 14], azonban a teljesítményelvű tervezéshez ilyen segédlet magyar nyelven nem áll rendelkezésre.

A volumetrikus tervezés általában a következőket tartalmazza:

- olyan keveréktípus és anyagok kiválasztása, melyek nagy valószínűséggel megfelelnek a vonatkozó előírásoknak és/vagy a teljesítménykövetelményeknek,

- a kívánt kőanyag osztály és a kötőanyag-tartalom ill. -típus kiválasztása,
- az anyagok laboratóriumi keverése, a keverék kondicionálása meghatározott tömörítési hőmérsékletre és időre,
- próbakeverék tömörítése és a térfogati tulajdonságok meghatározása, beleértve a szabad hézagtartalmat, a térfogatsűrűséget, az ásványi adalékanyagok hézagtartalmát (h_k) és a kötőanyag telítettség mértékét (t_b); egyes tervezési előírások a kötőanyag-film index meghatározását is előírják,
- a Marshall-stabilitás és a -folyás meghatározása (Marshall-tömörítéssel), a Marshall merevségi hányados (a stabilitás és a folyás aránya) számítása, ha szükséges, ezt azonban az európai tervezési eljárások (helyesen) már nem használják,
- a térfogati és a Marshall-tulajdonságok meghatározott követelmények alapján történő összehasonlítása.

Ha az összes vonatkozó követelmény teljesül, és nincs szükség további vizsgálatra, akkor a vizsgálat első szintje, a volumetrikus tervezés lezárható. A keverék tulajdonságainak elfogadása egyetlen próbakeverékből alapvetően azokra a keveréktervekre vonatkozik, amelyek olyan meglévő keveréken alapulnak, amelyet korábban teljes keverékvizsgálatnak vetettek alá, vagy ahol a térfogati tulajdonságokat a későbbiekben keverőtelepi gyártás és vizsgálat során is megerősítik (keverőtelepi validálás).

Ha további vizsgálatra van szükség az optimális kötőanyag-tartalom kiválasztásához vagy a kötőanyag-tartalom változás térfogati tulajdonságokra gyakorolt hatásának meghatározásához, a volumetrikus szintű tervezés a következőkkel folytatódik:

- két további, a kezdeti próbakeverékekkel megegyező szemeloszlású, de annál $\pm 0,5\%$ -kal eltérő kötőanyag-tartalmú keverék előállítás és tömörítése,
- a térfogati tulajdonságok és (ha szükséges) a Marshall-tulajdonságok meghatározása, az eredmények grafikus bemutatásával, a kötőanyag-tartalom változás függvényében,
- az optimális kötőanyag-tartalom kiválasztása, kielégítve a szükséges specifikus paramétereket, mint, például, ásványi adalékanyagok minimum hézagtartalma (h_k) és maximum kötőanyag telítettsége (t_b ; ez a paraméter azonban a hazai keverékekre vonatkozó követelmények között nem szerepel).

A keverék nagy forgalmú útszakaszon való felhasználása esetében, további vizsgálatok lehetnek szükségesek a tervezett kötőanyag-tartalom mellett, valamint zsirátoros tömörítőgéppel, legfeljebb 250 vagy 350 fordulatszámmal - a specifikációk alapján készített - maximális tömörség ellenőrzése (refusal density); azonban ilyen jellegű vizsgálatokat a magyar gyakorlat szintén nem követel meg.

Egyes előírások további próbakeverékek előkészítését és tömörítését követelhetik meg annak meghatározása érdekében, hogy az aszfaltgyártáshoz megengedett tűréshatáron belül lehetséges bitumentartalom és/vagy szemeloszlás változása milyen hatással van a térfogati tulajdonságokra.

A volumetrikus keveréktervezés befejeztével lehet lépni a következő szintre, ahol teljesítmény elvű vizsgálatok számos módszere választható, a felhasználás szempontjai szerint:

- a pályaszerkezeti tervezéshez használt mechanikai tulajdonságok: rugalmassági modulus (merevség) és fáradási tulajdonságok (ellenállás),
- tartós alakváltozással szembeni ellenállás: keréknyomképződés,
- vízerzékenység: kipergéssel, illetve felületi hámlással szembeni ellenállás.

Meg kell jegyezni, hogy a vizsgálatok megfelelő szintjének megválasztása az aszfalt kivánt alkalmazásától és/vagy a meghatározott követelményektől függ, melyet, például, a francia [15] vagy az ausztrál keveréktervezési útmutatók [16] is magukba foglalnak.

4. RA FELDOLGOZÁS ÉS DEPÓNIA MENEDZSMENT

Az Egyesült Államokbeli National Asphalt Pavement Association (NAPA) 1977-ben közzétette az Újrahasznosítási Jelentését (Recycling Report). Ekkor a hagyományos melegaszfaltok (hot mix asphalt, HMA) újrahasznosításával kapcsolatos kísérletek már évtizedek óta folytak, azonban a HMA

újrhasználásának koncepciója még minden gyakorlati szempontból vadonatúj volt, és mind az ügyi adminisztrációknak, mind pedig a kivitelezőknek kétségei voltak a végső újrhasználott termék megfelelő minőségével és a hosszú távú teljesítményével kapcsolatban [17]. Azóta a több millió tonna aszfalttermelés világszerte bebizonyította, hogy a RA-val kevert HMA keverékek ugyanolyan teljesítményjellemzőkkel bírnak, mint a hagyományos HMA keverékek.

A marással vagy bontással visszanyert aszfaltot szükséges azonban feldolgozni, hogy az RA-val gyártott aszfaltkeverék szemeloszlása és bitumentartalma, és ez által a volumetrikus tulajdonságai, ellenőrizhetőek legyenek. Aszfaltgyártók néha alacsony (10% alatti) RA-felhasználás mellett úgy tartják, hogy nem szükséges a visszanyert aszfalt töréssel és osztályozással történő további feldolgozása, azonban a jól kontrollált gyártáshoz gyakorlati szempontból ez nem minden esetben megfelelő megoldás. Magasabb RA-felhasználás mellett (10% felett) pedig az osztályozás elengedhetetlen, kimondottan magas RA-felhasználás mellett (30% felett) pedig legalább két frakcióba való osztályozás szükséges. Az osztályozást célszerűen törés előzze meg a túlméretes szemcsék magas arányának elkerülése miatt, de a törés igazából termelékenységi és nem minőségi kérdés, tehát az aszfaltgyártó – mérlegelve az anyag kettős mozgatásának költségét – dönthet úgy, hogy a visszanyert anyagot csak osztályozza. Törés alatt nem kőbányászati célú feldolgozást értünk, ahol a kőszemcsék fizikai aprózódása a cél, hanem az RA konglomerátumok felbontására gondolunk, a kőszemcsék aprózódásának minimalizálása mellett [18]. Ezt megfelelően kiválasztott és üzemeltetett törőberendezéssel minden további nélkül el lehet érni. A hazai tapasztalat szerint is, az egyazon forrásból származó marások szemeloszlásukban és összetételükben (szemcseméret, bitumentartalom és jellemzők) jellemzően azonosak és homogének [9].

Amikor az újrhasználás az 1970-es évek végén először megkezdődött, a kor irodalma azt javasolta, hogy az RA-t alacsony, vízszintes készletekben halmozzák fel, attól tartva, hogy a magas, kúpos depóniák esetében, a visszanyert aszfalt, a halom súlya alatt, újra tömörödik. A tapasztalat bebizonyította, hogy magas depóniák valóban tömörödnek a saját súlyuk alatt, ez azonban az RA szemeloszlásától és bitumentartalmától is függ, ezért általános irányelvnek nem tekinthető. De anyagmozgató gépeket – mint, például, a homlokrakodókat, kotrókat és teherjárműveket – nem szabad engedni, hogy közvetlenül a készleteken haladjanak, és azokat tömörítsék.

Az RA, különösen a finom szemeloszlású, nem eresztí át, és nem vezeti el úgy a vizet, mint a tipikus kőanyagok, ezáltal a magas nedvességtartalom a felhasználható anyagok adagolási százalékára nagy hatással van; ezért az RA lefedése gazdaságossági és termelékenységi kérdés is egyben. Emiatt a legtöbb RA depóniát vagy ponyva alatt, vagy nyitott oldalú tető alatt tárolják. Ilyen szerkezeti kialakítás során a szabad levegő áthaladhat a halom felett, aminek szárító hatása lehet, ugyanakkor az a közvetlen ráhulló csapadéktól véd. Az ilyen szerkezetek viszonylag gazdaságosak, és magas RA termelés mellett az üzemanyag-fogyasztás jelentős csökkenését is eredményezik, valamint a létesítmény kapacitása magas RA-adagolás mellett sem csökken.

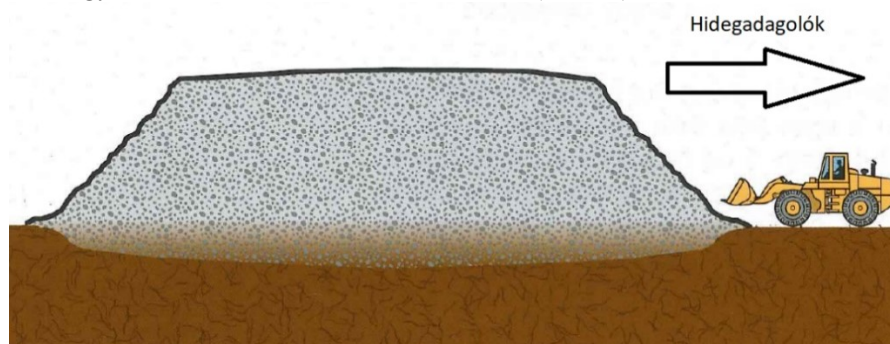
A depónia víztartalmának minimalizálása érdekében, ha a depónia nem fedett, a kúpos depóniák preferáltak. Az alacsony, vízszintes, lapos és fedetlen készletek általában nagyobb nedvességtartalmúak, mint a magas, kúpos készletek. Nem szokatlan, hogy ott, ahol horizontális depózást alkalmaznak, a tavasz folyamán a RA nedvességtartalma a 7-8%-ot eléri. Ez drasztikusan csökkenti az aszfaltkeverőtelep teljesítményét, vagy az RA feldolgozható százalékos arányát, emeli az üzemanyagköltségeket, és korlátozza az általános termelést.

Az aszfaltgyártók hosszú időn keresztül keresték a kőanyagszárítás legolcsóbb módját. Olyan alkalmazásokat próbáltak ki, mint a nagyobb szárítódobok vagy nagyobb égő fejek, illetve komplex géprendszerek alkalmazása. Figyelembe vették továbbá a dobon belül az anyagemelő lapátok konfigurációját vagy a levegőáramlás javítását, illetve a levegő és a tüzelőanyag arányának változtatását. Mind ezek azonban a szárítási és a gyártási teljesítményt csak korlátozott mértékig növelték. Az aszfaltipar azonban hosszú időn keresztül nem vette figyelembe, és sokszor még most sem veszi figyelembe, hogy a kőanyag víztartalma a gyártás előtt minimalizálható. A kőanyagok - beleértve az RA-t is - víztartalmának minimalizálására tett együttes intézkedések növelik a gyártási teljesítményt, és

csökkentik az aszfaltkeverő telepek általános energiaigényét. Megfelelően kezelt depóniák a következő megtakarításokat eredményezik:

- csökkentett szárítási költség,
- növelt gyártási kapacitás,
- csökkentett aszfaltbeépítési költség (magasabb géplánc kihasználtság).
- csökkentett kőanyagvesztés,
- csökkentett eszközhasználat és energiaköltség,
- nem megfelelő aszfaltkeverék gyártásából eredő minőségi problémák csökkentése,
- homlokrakodók és anyagmozgató gépek üzemeltetési költségének csökkentése.

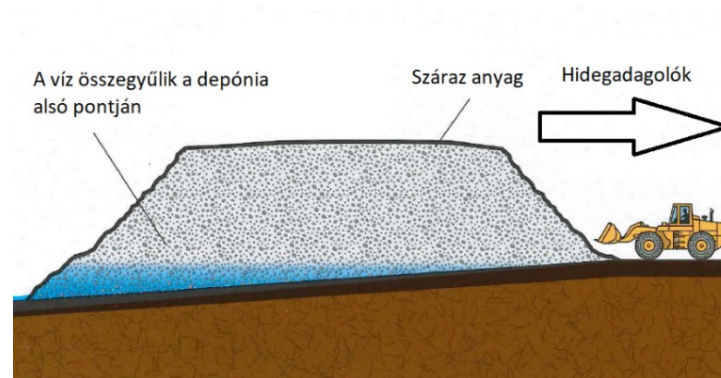
Néhány esetben az aszfaltkeverő telepeken a kőanyagot - beleértve az RA-t is - mindenféle felületelőkészítés nélkül helyezik a talajra. Az ilyen fajta, előkészítetlen talajon vízelvezetési problémák és az anyaghalmozak süllyedése várható. A nem megfelelően előkészített felületbe a nyersanyag benyomódik, és az a gyártás számára elveszettnek minősül (1. ábra) [19].



1. ábra. Kőanyag és RA altalajba való süllyedése és anyagvesztése burkolatlan és drénezetlen felületen.

Az ilyen módon megsüllyedt depóniák nem vízteleníthetőek, ezért a depóniák alatt vízfelhalmozódás várható. Függetlenül attól, hogy az aszfaltkeverő milyen gépészeti megoldásokat használ, és milyen annak a szárítási hatékonysága, a szárítási költség a szárazabb nyersanyag felhasználásával csökkenthető. Ezért a nyersanyag víztartalmát még a gyártásba adás előtt csökkenteni szükséges.

Megfelelő lejtéssel ellátott felületre helyezett kőanyag és RA víztartalma, a drénezés eredményeképpen, a depóniák mentén változik. A depóniák magas pontja célszerűen az előadagolók oldalára kerüljön, mivel itt a depóniák, a terepszintet is beleértve, minimális víztartalommal rendelkeznek. Ha a depóniák lejtése úgy van kialakítva, hogy az az előadagolók felé esik, akkor kimondottan magas víztartalmakat várhatunk a talajszinten, mivel a drénezés eredményeképpen minden víz itt fog összegyűlni (2. ábra) [19]. Akár olyan extrém víztartalmak is előfordulhatnak, mint 10% finom RA vagy 20 % homok esetében. Ilyen magas víztartalmak pedig a gyártást jelentősen befolyásolják.

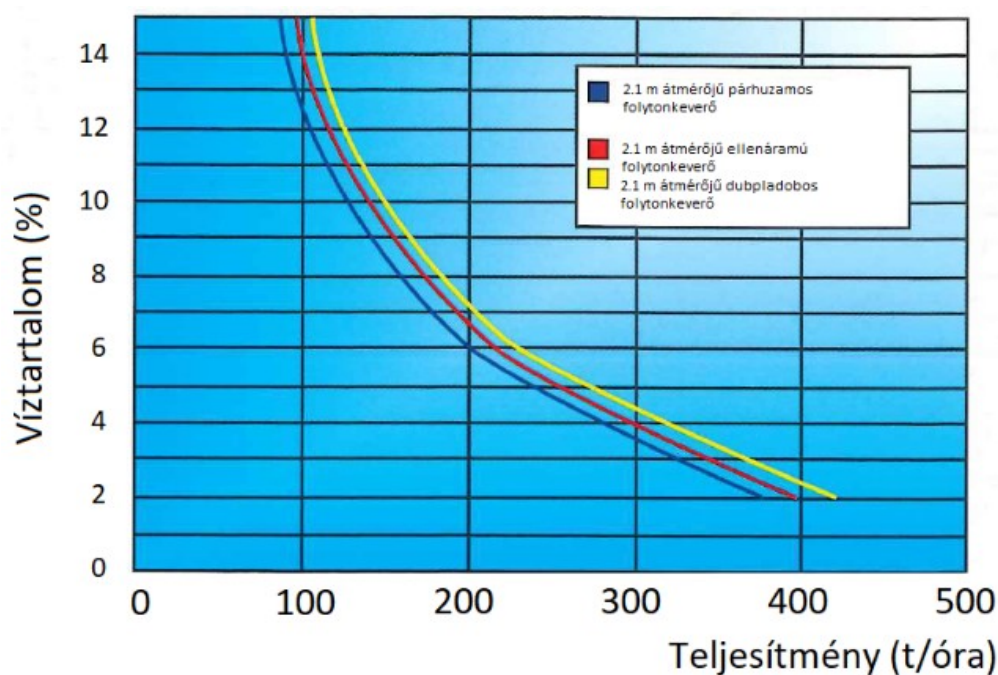


2. ábra. Megfelelő lejtéssel ellátott felületre helyezett kőanyag és RA drénezése.

Minél nagyobb a depóniák alatti terület esése, annál jobb a gravitációs víztelenítő hatás, azonban a keverőtelep vagy RA feldolgozó üzem természetes adottságait és a különböző anyag típusokat és szemcseméreteket is figyelembe kell venni:

- nagyobb kőszemcsével rendelkező anyagok hajlamosabbak a szegregációra,
- a finomabb anyagok fajlagos felülete nagyobb, mint a durvább anyagoké, ezért a finomabb anyagok több vizet tartanak vissza, mint a durva szemcséjű anyagok,
- a finomszemcsés anyagok, ha már vizet kaptak, nem lehet vízteleníteni őket olyan könnyen, mint a durva szemcsés anyagokat, ezért a finomszemcsés anyagok ebből a szempontból sokkal több figyelmet igényelnek.

A 3. ábra [19] azt mutatja be, hogy a csökkenő víztartalom jelentős mértékben növeli az óránkénti teljesítményt, különböző folytonkeverő konfigurációk esetében. Jellemzően hasonló teljesítményváltozást okoz a víztartalom, a szakaszos keverők esetében is.



3. ábra: A víztartalom hatása a folytonkeverők teljesítményére.

A 3. táblázat [20] dupladobos folytonkeverő esetére bemutatja, hogy az aszfaltkeverő dob méretváltozása milyen arányban változtatja meg az óránkénti termelési kapacitást a víztartalom függvényében. Adott víztartalom alatt, a táblázat fejlécében, a felhasznált fűtőanyag mennyisége látható. Például, 1.8 m-es átmérőjű, viszonylag kis szárítódob, 3 %-os víztartalom mellett, ugyanakkora kapacitású, mint egy 2.4 m-es átmérőjű szárítódob, 7 %-os víztartalom mellett. A tüzelőanyag-, a gyártási kapacitás változása nélkül, 5.0-ról 7.9 literre növekszik. Ez nemcsak nagyobb gépet és költségesebb beruházást igényel, de jelentős üzemanyag növekedést is generál.

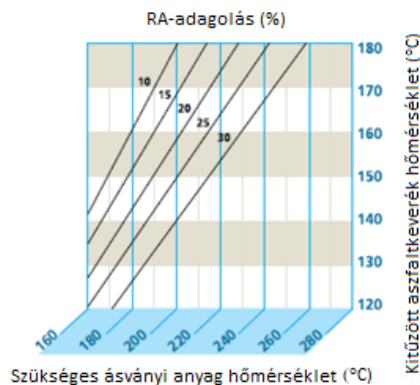
2. táblázat. Dupladobos folytonkeverő kapacitásváltozása, az alapanyag víztartalmának függvényében.

Eltávolított víztartalom (%)		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tüzelőanyag (liter/tonna)		5.0	5.7	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.1	12.0
Szárítódob átmérője (m)	Átáramló gázmennyiség (m ³ /perc)	Keverési teljesítmény (tonna/óra)									

1.8	793	287	239	205	178	157	140	127	115	105	97
2.1	1090	394	329	281	245	216	193	174	158	145	133
2.4	1416	512	427	365	318	280	251	226	205	188	173
2.7	1798	651	542	463	403	356	318	287	261	239	219
3.0	2223	804	670	573	499	440	393	355	322	295	271

A későbbiekben még részletesen foglalkozunk a szakaszos keverők RA-adagolási lehetőségével, de a víztartalmak és a gyártási hőmérsékletek kapcsán, már itt megemlítjük, hogy szakaszos keverő esetében, az RA-adagolást jellemzően egy köztes silón és az adalékmérlegen, vagy egy külön szakaszos mérlegadagolón keresztül oldják meg. Ekkor az RA melegítését és szárítását (a keverőteknőben) az előzetesen szárított és felfűtött forró ásványi anyagok végzik. Amikor a forró ásványi anyagokból a hő a visszanyert aszfaltba vezetődik át, a benne lévő nedvesség elpárolog, és hirtelen vízgőz keletkezik, amelyet szívóberendezések által kell elvezetni. Mivel a keverék hőmérséklete jelentősen befolyásolja a terítést és a tömörítést, a keverék megcélzott gyártási hőmérsékleti határértékeket nem szabad csökkenteni. Ezeket a hőmérsékletet Németországban a TL Asphalt-StB 07 [20] szabályozza.

Mivel az RA felmelegítéséhez szükséges hőenergiát az ásványi anyagokból merítik, ami azt jelenti, hogy ezeket mindenképpen magasabb hőmérsékletre kell felmelegíteni és az RA nedvességét a gyártás során kell elpárologtatni. A 4. ábra [21] értékei útmutatást adnak arra nézve, hogy szakaszos keverő esetében, az RA-adagolás függvényében, nulla víztartalom mellett, az ásványi anyagokat milyen hőmérsékletre kell túlfűteni. A 3. táblázat [21] megmutatja, hogy a víztartalom függvényében mennyivel kell tovább emelni az ásványi anyag hőmérsékletét.



4. ábra. Az ásványi anyag szükséges hőmérséklete az RA-tartalom függvényében.

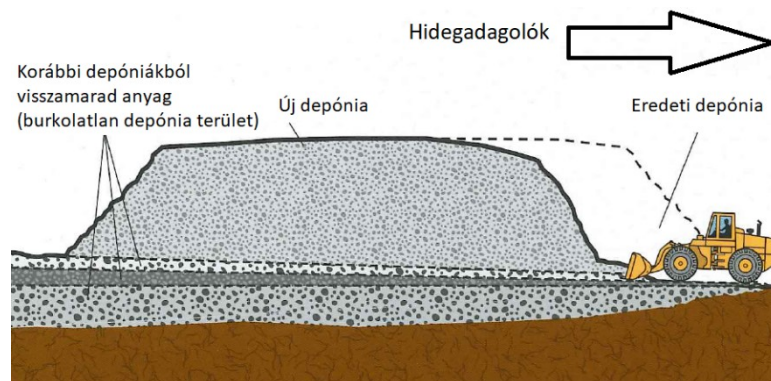
3. táblázat. Az ásványi anyag hőmérsékletkorrekciója, az RA víztartalmának függvényében.

RA tartalom (%)	Az RA víztartalma (%)					
	1	2	3	4	5	6
	Hőmérséklet korrekció (°C)					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-

Például, ha az RA víztartalma nulla, 30 %-os RA-adagolás és 160°C aszfalt hőmérséklet esetén, az ásványi anyagot 230°C-ra kell hevíteni. Amennyiben az RA víztartalma 2%, akkor ehhez még 24°C értéket kell adni, vagyis az ásványi anyagot 254°C-ra kell hevíteni. Az előírás 30 %-nyi RA-adagolás mellett nem is engedi, hogy az RA víztartalma 2%-osnál magasabb legyen, hiszen e felett már olyan hőmérsékleteket kellene elérni, ami károsan befolyásolja a keverék minőségét, a gép fenntartását és gyártási kapacitását. Bár a táblázat a kék színnel kiemelt értékeket magában foglalja, az ilyen kombinációktól a gyártók a legjobb esetben távol tartják magukat, hiszen 25%-os RA-adagolás, 180°C aszfaltkeverék hőmérséklet és az RA 6%-os víztartalma mellett, a kőanyagot 300°C-ra kellene hevíteni, ami messze a kívánatos érték felett van. Ha ilyen hőmérsékletű kőváz és a bitumen találkozik, az a bitumen nagymértékű öregedéséhez vezet, már a gyártás során, mely az aszfaltkeverék hosszú távú teljesítményét jelentősen ronthatja. Látható tehát, hogy egy olyan lényegtelennek tűnő részlet, mint az RA víztartalma, döntő mértékben hat a gyártás és beépítés kapacitására, illetve energiafelhasználására, valamint a keverék minőségére, ezért ezt a területet nem érdemes elhanyagolni.

Vegyük figyelembe továbbá, hogy a modern aszfaltbeépítő gépláncok teljesítménye jelentősen felülmúlja az aszfaltkeverő gépek kapacitását, ezért a termelékenység csökkentése nemcsak a gyártásban, de a beépítésben is jelentős veszteségeket okozhat. A beépítő gépláncok fajlagos költségét a minél magasabb beépítési rátával lehet csökkenteni, ezért nem elhanyagolható, hogy egy géplánc óránként 250 vagy 350 tonna aszfaltot épít be. A beépítő gépláncok napi költsége általában állandó, ezért a termelékenység magasán tartása a cél. Ebből a szempontból sem elhanyagolható, hogy az alapanyagok, beleértve az RA-t, milyen víztartalommal rendelkeznek a keverőtelepen, és az milyen hatással van a keverőtelep gyártási kapacitására.

Ahogy azt már említettük, megfelelően előkészített - célszerűen aszfalttal burkolt - felületre helyezett kőanyag nem fog a gyenge teherbírású talajba benyomódni. Ha a kőanyag az altalajjal keveredik, az így elvesztett anyagot már nem lehet a gyártásban felhasználni, ezért ez jelentős anyag- és egyben anyagi veszteséget is jelent. Megfelelően burkolt depóniafelületről a kőanyag teljes terjedelmében felhasználható, ennek további eredménye, hogy nem kell a régi és új behordott anyag keveredése által okozott inhomogenitástól sem tartani (5. ábra) [19]. Ezért a megfelelő lejtéssel és burkolattal ellátott depóniák nemcsak a víztartalmat és az anyag veszteségét csökkentik, hanem minőségi ingadozást is minimalizálják. Ez a végtermék szempontjából pozitív hatás, mivel a végtermék homogenitása sem veszélyeztetett, és nem vezet szükségtelen minőségi levonásokhoz.



5. ábra. Fügőleges depónia inhomogenitás, nem burkolt és drénezett depóniatér esetében.

Szükséges felhívni a figyelmet arra, hogy 1 kg víznek a térfogata 0.001 m^3 , ami a gyártás során vízgőzzé alakul és a térfogata 1.67 m^3 -re növekszik. Ez a rendkívül jelentős térfogatváltozás nemcsak az égéshez szükséges levegőmennyiséget csökkenti a szárítódobon belül, de a gőzképződés egyéb problémákhoz is vezet. Ezek lehetnek a vízpára lecsapódása okozta elnedvesedés a porleválasztó zsákokon, vagy a mérlegek ingadozása a szakaszos keverők esetében. Természetesen ez a probléma sokkal szerteágazóbb és változatosabb, mint azt itt részletesen be tudnánk mutatni, hiszen a tényleges probléma függ a keverő típusától (szakaszos vagy folytonos) és azon belül is az anyagáramok kialakításától, illetve az RA beadagolásának módjától. Emlékezzünk arra, hogy a depónia menedzsmint itt felsorolt részletei a kőanyagokra vonatkoznak, és ebből a szempontból a megfelelően feldolgozott RA is kőanyagnak számít, ezért a korábbi megállapítások az RA-ra is érvényesek.

5. GÉPTECHNOLÓGIA

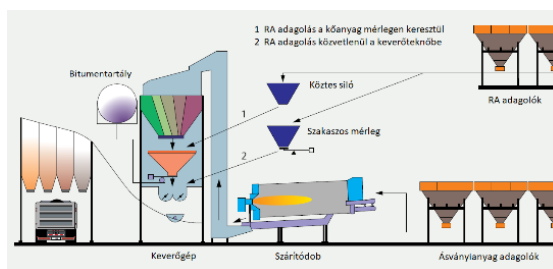
5.1. SZAKASZOS KEVERŐ ÜZEMEK

Mivel Európában sokféle típusú keverék előállítására van igény, és ezen sokféle keverékhez tartozó gépbeállítást rövid időn belül kell változtatni a gyártás során, túlnyomórészt szakaszos keverő üzemeket alkalmaznak. Ellentétben az Egyesült Államokkal, csupán nagyon kevés folytonkeverő üzem működik, mert csak akkor van értelme ezeket használni, ha nagyobb mennyiségű azonos típusú keveréket állítanak elő változtatás nélkül, például, nagyforgalmú utak vagy repülőterek teljes rekonstrukciója esetében. Az alábbiakban bemutatjuk a szakaszos keverők alapvető típusait az RA-adagolás szempontjából, és

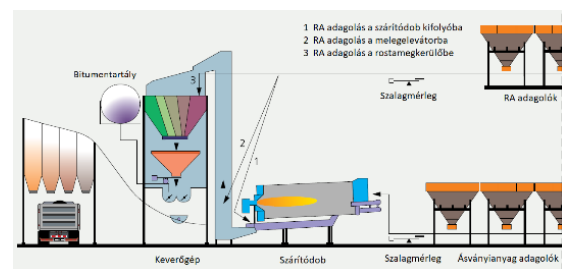
kitérünk a folytonkeverőkre is, azonban európai elterjedésük hiányában, csak a legnagyobb teljesítményű dupla dobos (double barrel) keverőgépre fogunk hivatkozni. Emlékezzünk azonban arra, hogy a folytonkeverőknek is több változata van, további részletek a NAPA kiadványában [17] vagy az Aszfaltújságban található [22].

A szakaszos keverőben az RA a következő módokon adagolható [21]:

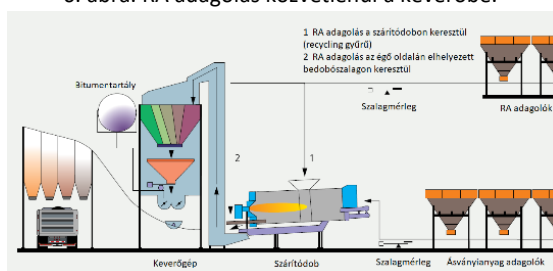
1. RA adagolás közvetlenül a keverőbe – az RA felmelegítése a forró kővázon keresztül történik, az RA szakaszos hozzáadásával (6. ábra)
2. RA adagolás a meleg elevátorba – az RA felmelegítése a forró kővázon keresztül történik, az RA folytonos hozzáadásával (7. ábra)
3. RA adagolás a dobgyűrűbe – az RA felmelegítése a kővázalattal együtt történik, az RA folytonos hozzáadásával (8. ábra)
4. Parallel dob – az RA felmelegítése a párhuzamos dobokon keresztül történik, az RA szakaszos hozzáadásával (9. ábra).



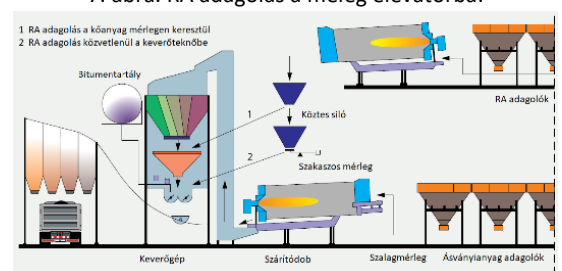
6. ábra. RA adagolás közvetlenül a keverőbe.



7. ábra. RA adagolás a meleg elevátorba.



8. ábra. RA adagolás a dobgyűrűbe.



9. ábra: Parallel dob.

Az 1. módszer esetében a forró ásványi anyagokat először előkeverik a hideg (azaz környezeti hőmérsékletű) RA-val, hogy ellensúlyozzák az új kötőanyag öregedését, a túlfűtött ásványi anyagokkal való érintkezés miatt. Miután az ásványi anyag hőfeleslege eloszlott, és ez idő alatt az RA felmelegedett és elvesztette nedvességtartalmát, hozzáadják az új kötőanyagot és keverik. Jellemzően legfeljebb 30 tömeg%-ban lehet RA-t adagolni az új keverékhez. Ezt a mennyiséget az RA nedvességtartalma és a forró ásványi anyagok kívánt hőmérséklete határozza meg és korlátozza is egyben. A melegbunkerekben lévő kötőanyagok rostálását és adagolását ez a módszer nem érinti.

A 2. módszer alkalmazásával az RA felmelegítése még szintén a kővázon keresztül történik, míg a 3. módszernél a kővázalattal együtt melegítik az RA-t. A két módszer közös jellemzője, hogy az RA és a kőanyag a rostarendszer előtt elkeveredik, ezért ezt a keveréket gyártani csak a rosta megkerülésével lehet, másként a rosták nagyon rövid idő alatt eltömődnek a bitumen és a finomanyag keverék miatt. Mindkét módszer esetén maximum 20%-nyi RA adható hozzá a keverékhez. A rendszer előnye, hogy az RA hozzáadása folytonosan történik, ezért hirtelen, nagy mennyiségű vízgőz nem képződik a keverőgép rendszerében. Az RA adagolását szalagmérleggel lehet szabályozni.

A rendszer hátránya, hogy a melegelevátorokban és a rostamegkerülő bunkerban az anyag már bitument tartalmaz (az RA-ból származó bitument), ami a rendszer gyakori tisztítását és karbantartását igényli. A választást a 2. és a 3. módszer között a keverőgép meglévő adottságai és az üzem helyi sajátosságai döntenek el. Mindkét rendszer jellemzője, hogy a végleges aszfaltkeverék szemeloszlási összetételét kizárólag az adalékanyagok és az RA homogenitása, illetve az előadagolók beállítása

határozza meg, mivel utólagos szabályozás nem lehetséges a melegbunkereken keresztül. Ezért a rendszer gyakorlatilag úgy működik, mint egy folytonkeverő, és az alapanyagok homogenitásának biztosítása miatt, szükséges, hogy az aszfaltgyártó a kőbányával és az RA feldolgozó egységgel szorosan együttműködjön. Megjegyezzük azonban, hogy ez a követelmény alapvetően bármilyen aszfaltgyártási módszer esetén igaz, de a szakaszos keverők esetében, a melegbunkerek alkalmazásával a kőanyag inhomogenitása bizonyos szintig javítható. Ennek a javításnak a mértéke azonban limitált, sokszor gazdaságtalan gyártás eredményez, és azt a képzetet kelti az iparágban, hogy a szakaszos keverők esetén a kőanyag inhomogenitása nem jelent problémát.

A 4. módszer alkalmazásával az RA felmelegítése párhuzamos (parallel) dob alkalmazásával történik, amivel maximum 80 tömeg%-ig lehet RA-t adagolni. Egyes gyártók hivatkoznak arra, hogy 100 tömeg%-nyi RA-t adagolnak, ez azonban kizárólag olyan keverőgéppel lehetséges, amely ellenáramú levegővel működik (Paralleltrommel mit Heissgaserzeugung) és amelyből jelenleg Európában nagyon kevés üzemel. Ilyen magas RA-adagolás mellett az RA-t legalább három frakcióba szükséges bontani, hiszen a végtermék szemeloszlása kizárólag az RA frakciók szemeloszlásától függ. A keverékben használt eredő bitumen megtervezése is kritikus, hiszen a végtermék bitumentartalma és bitumenminősége kizárólag az RA-frakciók bitumenjétől függ, jellemzően friss bitument a keverékhez nem adnak, ha csak annak a bitumentartalma nem nagyobb, mint a frakciók eredő bitumentartalma, és nagy valószínűséggel rejuvenáló szer adagolása is szükséges az eredő bitumen minőségének szabályozása érdekében. Bár a 100%-os RA-hasznosítás lehetséges, a beruházási, a feldolgozási és az ellenőrzési követelmények miatt, ezek széleskörű elterjedése még hosszú időt fog igénybe venni.

A párhuzamos dob alkalmazásával 30-50 %-os RA-adagolást céloznak meg jellemzően, mivel ennél a szintnél az említett ellenőrzési igények kezelhetők. Ebben az esetben az RA-t általában 130°C-ra melegítik fel a párhuzamos dobban, és adagolják a melegbunkereken keresztül átjutó, előzetesen felfűtött kőanyaghoz. A kőanyagot itt jellemzően nem kell túlfűteni, hiszen az RA-t a párhuzamos dobban keresztül melegítik fel, ahol az a víztartalmától is megszabadul.

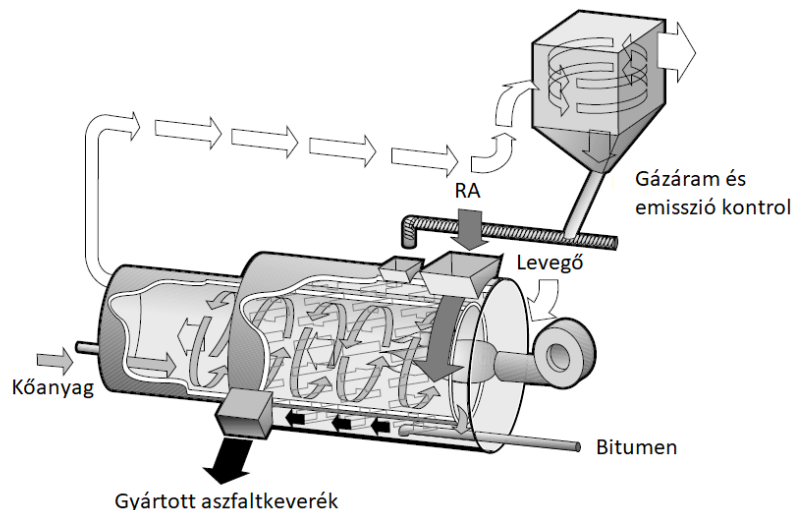
Az RA összetétele és homogenitása ezért igényel különös figyelmet, és nő meg a depóniamenedzsment jelentősége és az előzetes vizsgálatok igénye, mivel bármilyen ingadozás az RA szemeloszlásában vagy bitumentartalmában - a 30-50 %-nyi RA-adagolás esetében – egyenesen hat a végtermékre. Ahogy azt a depóniamenedzsment kapcsán tárgyaltuk, az RA homogenitása kontroll módszerekkel biztosítható, de annak hiánya a magas RA-adagolásnál a keverék nem-megfelelősége szempontjából szükségtelenül magas kockázatot eredményez. Mivel az RA ebben a rendszerben a rostákat megkerüli, így ez hibrid üzemnek tekinthető, ahol az RA útja és kontrollja azonos egy folytonkeverőjével, míg a kőanyag útja azonos egy normál szakaszos keverőjével. A két anyagáram a végén természetesen szakaszos keveréssel egyesül. Németországban és Ausztriában az aszfaltgyártók rutinszerűen üzemeltetnek párhuzamos dobba ellátott keverőgépeket 30-50 %-os RA-adagolással, ahol a végterméknek minőségi és homogenitási problémái nincsenek, de legalább is azonosak az RA nélkül gyártott keverékekkel. 2021-től Magyarországon is üzemel egy aszfalkeverő párhuzamos dobba. A meleg recycling-rendszerrel a vízgőzképződés, a keverési hőmérséklet csökkenése, a visszaadagolási korlátok - amelyek az egyes hideg recycling rendszer problémái lehetnek - nem jelentkeznek [23].

5.2. FOLYTONKEVERŐ ÜZEMEK

A folytonos üzemű rendszerekben az aszfaltkeverék egyes alkotóelemeit folyamatosan adagolják, és a szárítás, a hevítés, illetve a keverés folyamatos, és jellemzően egy dobban történik. Az egyes folyamatok a dobban belül természetesen elkülönülnek, de a folyamatot több dob beiktatásával is szét lehet bontani. Az RA-adagolás szempontjából az a rendszer a legalkalmasabb, melyben az RA és a láng nem érintkezik. Itt csak a legnagyobb teljesítményű dupla dobos (double barrel) keverőgéppel foglalkozunk, amely bár Európában nem elterjedt, a magyarországi aszfaltipar számára mégsem teljesen idegen, hiszen 2001-ben az M3-as autópálya mezőkövesdi szakaszán az aszfaltkeveréket ilyen keverőgéppel gyártották [22].

A kőanyag elsőnek áthalad az ellenáramú szárítódob belsejében, majd külső rögzített keverőhéjba engedik, ahol a keverőlapátok a felhevített ásványi anyagot ellenkező irányba mozgatják, mint ahogy az a belső dobban mozog (10. ábra) [17]. Az anyag a külső dobban, a belső, forgó szárítódob és a rögzített külső héj között, a keverőágyon keresztül halad (11. ábra, 12. ábra). Itt a külső héjban (dobban) adagolják be a végső keverék előállításához az RA(k)-t, a friss bitumént, a töltőanyag(ok)at, illetve az egyéb adalékanyagokat. A végterméket a belső dob betápláló vége felé engedik ki, és juttatják a silókba vagy közvetlenül szállítójárművekre. Külső megjelenésében könnyen megkülönböztethető az egyéb folyton keverő berendezésektől, a külső héj miatt, amely nem fut végig a belső dob teljes hosszán, így a vízszintes tengely mentén aszimmetrikus elrendezésű.

A visszanyert aszfaltból származó gőzt az előzetesen felfűtött és a külső héjba juttatott ásványi anyag gőzével vezetik ki, a porelszívó rendszeren keresztül. A RA-t az előzetesen felfűtött kőanyag és a szárító-héj égési területéből származó további hő vezetésével fűtik fel; ennek során az RA a lánggal nem érintkezik. Ilyen rendszerben 40%-os RA-adagolásig lehet elmenni. A szakaszos keverőknél korábban részletezett kőanyag és RA-ellenőrzés a folyton keverő rendszernél elengedhetetlen. Az RA-adagolás elvileg 50%-ig is lehetséges; ehhez azonban kedvező külső hőmérséklet és légnyomás, valamint alacsony víztartalom szükséges, mind a kőanyag, mind pedig az RA tekintetében. A végtermék szemeloszlásának szabályozása érdekében legalább két, de ideálisan három RA-frakció szükséges.



10. ábra: Dupladobos rendszerű aszfaltkeverő működésének elvi ábrája.



11. ábra: Mobil dupladobos rendszerű aszfaltkeverő gép szárító és keverődobja.



12. ábra: A külső dob felnyitásával láthatóvá válik a dupladobos rendszerű aszfaltkeverő gép belső dobpalástja a keverőlapátokkal.

6. TANULMÁNYÚT AUSZTRIÁBAN ÉS NÉMETORSZÁGBAN

2022 augusztusában a szerzők két osztrák és két német keverőtelepet látogattak meg (13-16. ábra). A keverőtelepek közös jellemzője a magas, 30 és 80% közötti RA-felhasználás volt és a négy keverőtelepből három rendelkezett párhuzamos dobbal. A két országban tett üzemlátogatás során tapasztaltak a következő pontokban foglalhatók össze:

- Az energiaválság és bitumenárak változása miatt érezhetően nő az RA felhasználása.
- Az alap- és a kopórétegeket az azokban használt eltérő, közetfizikai követelményeik miatt, külön gyűjtik, és dolgozzák fel RA-ként – majd a kőzet szerint az RA anyagot is szétválasztják.
- Keverőteleptől függően, egy vagy két frakcióba bontják az RA-t, törő és osztályozó alkalmazásával – az RA, mint végtermék homogenitásával nincsenek gondok.
- Ausztriában megengedett a kavics aszfaltot tartalmazó RA alkalmazása (töretlenül is) – de csak mellékúton.
- Az eredő bitument megfelelően tervezik, és az alkalmazásnak megfelelően lágyabb bitument vagy rejuvenátort alkalmaznak.
- Az RA alkalmazásának alapvető feltételei:
 - száraz tárolás,
 - a bejövő anyag megfelelő szétválasztása és homogén végtermék előállítása (a szelektivitásról már a tervezési fázisban igyekeznek feltárások segítségével gondoskodni),
 - a keverőtelepi labor támogatása elengedhetetlen, a DSR vizsgáló eszköz mindenhol elérhető az eredő bitumen tervezéséhez,
 - a homlokrakodó- és a kotrókezelők tréningje a bejövő anyag- és a kész RA homogenitása érdekében,
 - az RA feldolgozáshoz megfelelően nagy terület szükséges (de megfelelő kezeléssel, pl. szállítószalagos osztályozással, kis helyen is megvalósítható).
- A RA víztartalmának alacsonyan tartása érdekében, esőben/esőt követően nem dolgoznak fel RA-t, a feldolgozott RA-t fedett csarnokban tárolják, ezért a víztartalom jellemzően 2% alatt marad, és így magas gyártási kapacitás érhető el.
- A finomabb frakciójú RA-nak jobb a hőátadó kapacitása, ezért a frakcióméret meghatározásánál nemcsak a keveréktervezési kérdéseket, de ezt a gyártási kérdést is figyelembe kell venni.
- A párhuzamos dobbal ellátott keverőket kevesebb keverékfajta nagy volumenű gyártása során lehet jól kihasználni.
- Nagyobb szemcseméretű kőanyagot és RA anyagot nem szükséges feltétlenül fedni, mivel ezek gyorsan elvesztik a csapadékból származó vizet.
- Egyes gyártási területek csak egyféle kőanyaggal dolgoznak, ezért ezeken a területeken felesleges és szükségtelen a különböző rétegekből származó mart aszfaltot külön gyűjteni, szállítani, tárolni és feldolgozni.
- Az új alaprétegekben használt keverékeket jellemzően útépitési bitumennel gyártják. Az útépitési bitumenekkel gyártott keverékek eredő bitumen tervezése sokkal egyszerűbb feladat, mint a PmB-vel gyártott keverék eredő bitumen tervezése és szabályozása. Utóbbinál legfeljebb 20%-os RA adagolás lehetséges, míg az előbbi esetében a 80%-os adagolás sem jelent gondot.
- A megrendelői oldal nem vonakodik a magas RA-tartalmú keverékek alkalmazásától, és aktívan támogatja ezek használatát.



13. ábra: Párhuzamos dobbal ellátott, nagyteljesítményű aszfaltkeverőgép Ausztriában.



14. ábra: Párhuzamos dobbal ellátott, nagyteljesítményű aszfaltkeverőgép Németországban.



15. ábra: A különböző frakciójú RA alapanyagok fedett tárolása Ausztriában.



16. ábra: Nagy mennyiségű RA fedett tárolása Németországban.

7. MŰSZAKI SZABÁLYOZÁS

Már 2008. óta érvényben van és rendelkezésre áll a visszanyert aszfaltra vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [24], amely az európai normákkal, elsősorban az MSZ EN 13108-8 „Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 8. rész: Visszanyert aszfalt” című szabvány keretelőírásain alapul, azzal összhangban levő és azt kiegészítő műszaki szabályozás kialakítására törekszik. Ez az ÚME rövid terjedelmű, de ennek ellenére koncepciójában viszonylag jól kezeli az RA-t és kis adagolásnál – ami kopóréteg esetében 10%, kötő- és alaprétegnél 20% - viszonylag egyszerű vizsgálati eljárást igényel, de kontrollt is megkövetel. Sajnos nem rendelkezik arról, hogy pontosan hogyan kell eljárni 20%-osnál magasabb arányú RA-adagolásnál, de amint az az országos átlagból látható, erre láthatólag nem is volt igény, hiszen ezt a kis mértékű adagolási lehetőséget sem használta ki eddig az iparág. Az aszfaltkeverékekre vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] a visszanyert aszfaltra vonatkozó ÚME-val egyetértésben már 2018 előtt, legfeljebb 10%-os adagolást engedett meg valamennyi aszfaltbeton keveréktípushoz, 20%-ot valamennyi (N), (F) és (mF) jelű kötő- és alapréteg jelzetű aszfaltbeton keveréktípushoz. (N) igénybevételi kategóriában az aszfaltbeton alapréteghez 20%-ot meghaladó mennyiség is megengedett, felső korlát nélkül.

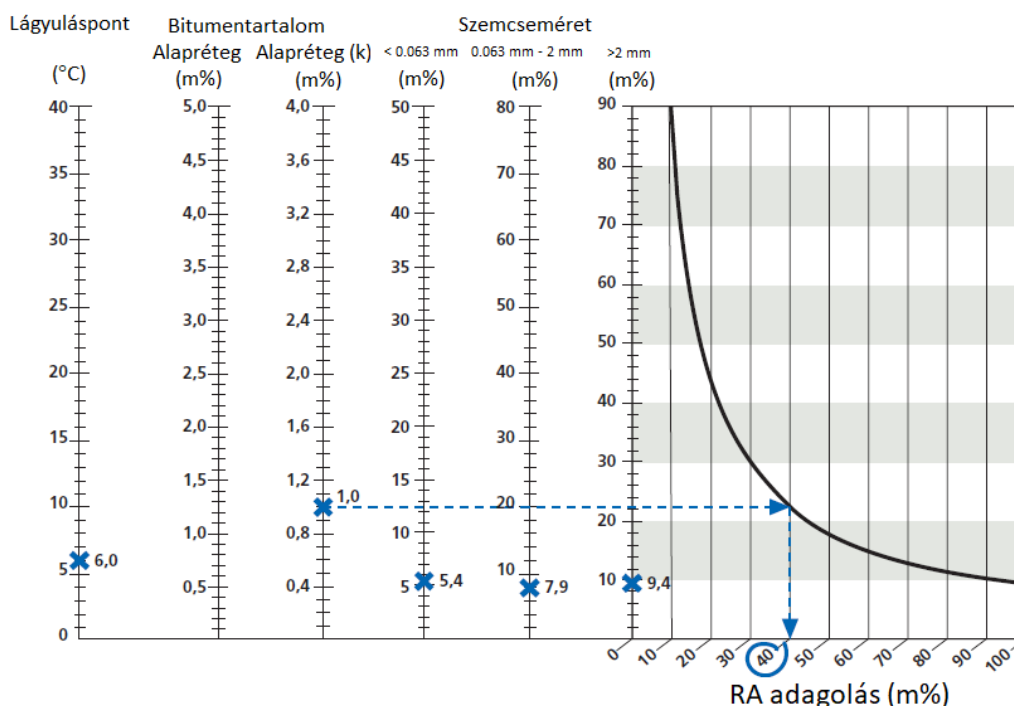
Az RA felhasználásának további elősegítése érdekében az Útépítési Aszfaltkeverékek, Visszanyert Aszfalt ÚME-t átdolgozták, és az a cikk írásakor közmegegyeztetés alatt áll, az iparág szereplői számára publikusan elérhető [25]. A visszanyert aszfalt ÚME ezen változata az aszfaltkeverékekre vonatkozó ÚME jelenleg érvényben lévő változatával együtt, a lágypont felső határát 70°C-os értékre

változtatja, pozitívan befolyásolva a felhasználást. Sajnos azonban az RA felhasználásának felső korlátot szabnak, mégpedig 40%-os maximális adagolást engednek meg (N) forgalmi terhelés mellett a kötő- és az alapréteg esetében, de csak meleg eljárás alkalmazásával. Ez egyfelől kedvező irányú változás, mert megengedi a kötőrétegben való magasabb arányú alkalmazást, másfelől azonban visszalépés a korábbi változathoz képest, mivel az alaprétegben, (N) forgalmi terhelés mellett, felső határt szab. Kismértékű emelkedést láthatunk a kopóréteg esetén (N) és (F) kategóriában, hideg adagolás mellett maximum 15%-nyi RA, meleg adagolás mellett pedig legfeljebb 25%-nyi RA adható, ha az RA bitumentípusa útépitési bitumen. Az ÚME M2 táblázata szerint visszalépés tapasztalható az mF kategóriában, ahol kopórétegben RA adagolása nem megengedett. Ezeknek a részleteknek a többsége azonban nem teljesen új, az aszfaltkeverékekere vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] 2021. decemberi változata ezeket már tartalmazta.

A korábbiakban ismertetettek, ha szakaszos keverő esetében, az adagolás közvetlenül a keverőteknőbe történik, akkor 30%-ig, míg folytonkeverő alkalmazásakor, 40%-os adagolásig is el lehet menni. A hideg adagolás esetében, így a 20%-os általános korlátozás nem veszi figyelembe a keverőgépek eltérő műszaki paramétereit. Meleg adagolásnál, az adagolható RA mennyiségét 40%-ban korlátozták, miközben az osztrák és a német gyakorlat rutinszerűen 50-60%-ig adagol RA-t.

Mind az aszfaltkeverékekre, mind pedig a visszanyert aszfaltra vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás láthatólag igyekszik az RA alkalmazását növelni, de egyúttal próbálja az összes elképzelhető változatot is szabályozni, ami a gyakorlati felhasználás szempontjából inkább zavarónak tűnik, és úgy találjuk, hogy mind a szövegezés, mind pedig a követelmények nehezen is értelmezhetőek. Az ÚME készítői is érezték a normaszöveg áttekintésének nehézségeit, ezért a mellékletben segítő ábrát (F1. ábra – Hasznosítható aszfalt kezelésének folyamatábrája) közölnek, ami azonban, sajnos, nem igazi folyamatábra, még a legáltalánosabb szerkesztési szabályokat sem elégíti ki; finomítása indokolt lenne. Emellett mindenképpen pozitív újdonság, hogy a mintavételi és a mintaosztási eljárásokra tartalmaz iránymutatást.

A cikk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy a hazai műszaki szabályozás mögött megbúvó történelmi hagyományokat, szokásokat és a jelen szakpolitikai elvárásait boncolgassuk, de összevetve pl. az angolszász, de akár a német vagy osztrák hasonló tárgyú előírásokkal, jól látható a megközelítésbeli különbség. Míg a nemzetközi gyakorlat törekszik egyfajta útmutató (guide) szemléletet megvalósítani, és elsődleges szándéka az újrahasznosítás növelésének előmozdítása, és ennek érdekében sokkal nagyobb kivitelezői, technológiai mozgásteret biztosít, addig a hazai szabályozás mindent szabályozni szeretne, és a vélt biztonságra és elvárt ideális minőségre hivatkozva, alsó-felső korlátokat állít. Jelen szabályozás tervezet esetében, ez a megközelítés azért is érdekes, hiszen nem rendelkezünk olyan gyártási tapasztalattal, ami megalapozná ezt a szigorú megközelítést. Jó példa erre az ÚME 5a) és 5b) táblázata, amely a nem kismértékű hozzáadagolás esetében megengedett legnagyobb terjedelemlátárokat írja elő, JÓ illetve MEGFELELŐ homogenitású depóniaanyag esetében. Megjegyzendő, hogy a JÓ, ill. a MEGFELELŐ kifejezést gyakran szinonimaként is használják, így érdemi minőségi különbség tételére nem alkalmasak. Érdemes lenne publikálni, hogy milyen depóniakezelési tapasztalatok alapján születtek meg ezek az értékek. Ezzel szemben, pl. a német szabályozásban az alábbi könnyen áttekinthető grafikon szerepel (17. ábra).



17. ábra. RA-depóniák homogenitásának hatása az RA-adagolás mértékére Németországban.

Jól látható, hogy a hozzáadagolás mértékét nem a megrendelő dönti el, hanem maga az RA anyag. A 17. ábra azt szemlélteti, hogy az RA-depóniákban a bitumen lágyuláspont és a szemcseméret eloszlása a vizsgált depóniákban alacsony. Az RA-depóniát leíró paraméterek közül, a bitumentartalom eloszlása a legmagasabb, így az a gyártás szempontjából mértékadó, és e miatt az RA visszaadagolás mértékét 40%-ban korlátozza. Azonban még a német megközelítés is korlátozó az ausztrál gyakorlat gyártáskontrolljához képest. A 17. ábra szerinti előírások Ausztráliában és az Egyesült Államokban nem léteznek, az RA tulajdonságainak eloszlását a gyártó 500 tonnánként vizsgálja, és a saját érdekei alapján, folyamatosan ellenőrzi, majd a gépbeállítást (batch card settings) ennek megfelelően, akár gyártási naponként változtatja. Az ÚME szerinti különböző esetre rögzített 20-30-40%-os visszaadagolási korlátokkal szemben, lehetne bízni a szakvállalati felelősségben, a gyártás és építés minőségbiztosításában, és nagyobb mozgásteret lehetne hagyni az innovatív gyártóknak.

Felmerül a kérdés, hogy mi volt az RA alkalmazásának alapvető akadálya az elmúlt évtizedekben? Mint láttuk, a felhasználás mértékét az ÚME-k korábbi változatai alapvetően nem korlátozták, és kérdéses, hogy az új és részletesen szabályozó ÚME a felhasználási arányt mennyiben fogja növelni. Nem lenne-e érdemes megvizsgálni, hogy melyik az a két- vagy háromféle aszfaltkeverék, amelyeket az aszfaltipar a legnagyobb mértékben gyárt, mely forgalmi terhelésre alkalmazzák ezeket a keverékeket, és milyen az előírt bitumen típusa? Komplex reológiai elemzés alapján meg lehetne vizsgálni, hogy milyen maximális adagolás eredményez kis kockázatot, nagy forgalmi terhelés és PmB vagy GmB alkalmazása esetében, illetve elfogadható kockázatot kis forgalmi terhelés és útépitési bitumen esetében. Ennek alapján, az RA-felhasználás projekt szinten megindulhatna, és ha az RA-bitumen vizsgálatát, a gyakorlati keretek között, a szabályozás kötelezővé, és nem ajánlottá tenné, úgy rövid idő alatt nagy mennyiségű adathalmaz állna rendelkezésre. Innen a folyamat tovább lenne finomítható, és fejleszhető általános szabályozás felé.

Sajnos, jelen pillanatban az országos úthálózatról származó RA-ban található bitumenekről - néhány publikációt leszámítva [9, 10] - legjobb tudásunk szerint, nem sok információ áll rendelkezésre. Mint ebben a cikkben láthattuk, ez az eredő bitumen tervezése és a kockázati faktor megállapítása szempontjából elengedhetetlen. “Mi lenne, ha” kérdésünk azonban feltételes, ezt a kérdést természetesen az elkövetkező évek gyakorlata és az RA felhasználási adatok fogják megválaszolni, de

örvendetes, hogy a szabályozások a magasabb RA adagolást támogatják, még ha azok, gyakorlati szempontból, további finomításra is szorulnak.

8. ÖSSZEFOGLALÓ

Az aszfalt pályaszerkezetből visszanyert aszfalt keverőtelepi újrahasznosításának mértéke – bár a keverőtelepi fejlesztések azt lehetővé tennék – hazánkban, sajnos még napjainkban is jelentéktelen. Az útfelújítások jelentős hányadában az elbontott pályaszerkezeti aszfaltrétegekből marással vagy bontással visszanyert aszfaltot burkolatalapba, esetleg padkába beépítve használják fel.

A cikk bemutatta, hogy az RA visszaadagolás számos paraméter függvénye, és tárgyalta a visszanyert aszfalt szükséges előkészítését, feldolgozását és tárolását, valamint a keverőteleppel szemben támasztott követelményeket. Amennyiben az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése és gyártása megfelelő módon történik, akkor teljesítményük az ugyanolyan típusú, visszanyert aszfaltot nem tartalmazó, melegen hengerelt aszfaltkeverékekével egyenértékű.

A „mart aszfalt vagy bontott aszfalt” szóhasználatot megszüntetésre javasoljuk, mivel magas RA-tartalmú aszfaltba mart aszfaltot vagy bontott aszfaltot nem célszerű adagolni, ha a gyártást ellenőrzés alatt akarjuk tartani. Magas RA-tartalmú aszfaltkeverékbe újrahasznosított aszfaltot (RA) lehet adni, amely mart aszfalt, bontott aszfalt vagy keverőtelepi aszfalthulladék feldolgozásával állítható elő. Ez, mint érzékelhető, befektetett munkát igényel, annak érdekében, hogy a gyártás megfelelőképpen szabályozható legyen.

Rámutatunk az RA-feldolgozás és a depóniamenedzsment jelentőségére, ami azonban alapvetően nem különbözik a kőanyag feldolgozásától és menedzsmentjétől, leszámítva, hogy ebben az esetben nem természetes bányából nyerjük az anyagot, hanem meglévő aszfalt útpályaszerkezetből. Az inhomogenitás természetesen jelen van mind a kétféle “anyagnyerő hely” esetében, ezeket azonban lehetséges és szükséges kezelni. Ezek módja pedig természetesen eltérő lesz a kőbánya és az RA feldolgozó telep esetében, azonban mind a két esetben kontrollált termék előállítása a cél. Próbáltuk árnyalni azt a szakmai berögződést, hogy az RA szükségképpen inhomogén és alsórendű anyag, hiszen megfelelő folyamatokkal mind az RA, mind pedig a kőanyag minősége szabályozható.

Mint láthattuk nemcsak az aszfaltgyártók hosszú távú beruházási és vállalati kultúra kialakítási stratégiájára, de a megrendelői oldal aktív támogatására is szükség van az RA alkalmazásához, bármilyen mértékű RA-adagolásnál. Láthattuk, hogy az RA alkalmazása alapvetően ugyanazt a mérnöki szabályozást és kontrollt igényelné, legyen az 10%-os vagy 50%-os adagolás. A kontroll következetes és szigorú alkalmazása azonban, a magas RA érték felé haladva, mindenképpen szükséges, mert azáltal a gyártás folyamatának és minőségének ingadozását mérsékelni lehet. Más szóval szabályozott aszfaltgyártáshoz, bármilyen szintű RA-adagolás mellett, szükséges az RA – és a kőanyag – kontrollja.

Az Útügyi Műszaki Előírás módosítása pozitív lépés, de feltételezzük, hogy az elmúlt évtizedek alacsony RA-használata nem feltétlenül csak a szabályozás hiányára vagy jellegére vezethető vissza. Reméljük, hogy a jövőben Magyarországon legalább projekt szinten, majd országos átlagos szinten a 15%-os újrahasznosítást el lehet érni, amely a magyar útépitési volument figyelembe véve, kb. évi 700 ezer tonna RA-felhasználást jelentene, szemben a jelenlegi 157 ezer tonnával. Ennek azonban, a vonatkozó UME tervezett bevezetése mellett, nemcsak a szabályozás elvi háttérét jobban feltáró, a tervezést és a gyártást segítő útmutatók kidolgozása szükséges, hanem annak a rendkívül káros jogszabályi állapotnak a feloldása is, amely szerint a munkaterületen keletkező mart aszfaltot – állami vagyon jellegét megőrizve – közútkezelői telephelyre kell szállítani, aminek következtében az kikerül a közvetlenül újra hasznosítási körből. Ez az aszfaltalapanyag így, sajnos, jellemzően elvesz a magas visszanyert aszfalt visszaadagolásának köréből. Hasonlóan más európai országok gyakorlatához, jelentős mértékben dinamizálná a magas fokú újrahasznosítást, ha a projekteken visszanyerhető aszfalt a kivitelezőnél maradhatna, így biztosítani lehetne, hogy a visszanyerés, a szállítás, a deponálás és az újrahasznosítás ne csak a jó gazda gondosságával történjen, hanem a kivitelező már a visszanyerést is, a saját gyártói igényeire és technológiai lehetőségeire tekintettel végezhetné.

9. 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.

10. HIVATKOZÁSOK

- [1]: Tóth, Cs., Pethő, L., Rosta, Sz. & Primusz, P. 2023: Performance assessment of full depth asphalt pavements manufactured with high recycled asphalt pavement content, *Acta Technica Jaurinensis*, Vol. 16, No. 1, pp. 18-26, 2023, <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00688>
- [2]: Rosta, Sz. & Zvekán, F. 2022: Visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverék tervezése lágyabb bitumen felhasználásával, 10. évfolyam, 16. szám, *Útügyi Lapok*, ISSN: 2064-0919. <https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.05>
- [3]: Asphalt in Figures – Provisional Figures. 2021: European Asphalt Pavement Association, Brussels – Belgium, 2022.
- [4]: National Asphalt Pavement Association, Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2021, Information Series 138, December 2022, United States.
- [5]: National Asphalt Pavement Association, High RAP Asphalt Pavements. 2015: Japan Practice – Lessons Learned, Information Series 139, December 2015, United States.
- [6]: MSZ EN 12697-1, Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei, 1. rész: Oldhatókötőanyag-tartalom.
- [7]: MSZ EN 12697-3, Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei, 3. rész. A bitumen visszanyerése: forgó bepárló.
- [8]: Zvekán, F. & Rosta, Sz. 2022: RA bitumen vizsgálatok a visszanyert aszfalt felhasználás részeként, *Az Aszfalt*, XXIX. évfolyam 2022/2. szám, pp. 58-64.
- [9]: Zvekán, F. 2022. Bitumen elegy tulajdonságok számítási és vizsgálati lehetőségei a visszanyert aszfalt felhasználás részeként, XV. HAPA Fialat Mérnökök Fóruma, 2022. november 8.
- [10]: Rosta, Sz. & Gáspár, L. 2023: Útépitési bitumen és visszanyert bitumen elegyének dinamikai viszkozitás számítása és előrebecslési lehetősége, *Közlekedéstudományi Szemle*, LXXIII. évf. 1. sz., pp. 21-37, DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.2>
- [11]: Rosta, S. & Gáspár, L. Dynamic viscosity prediction of blends of paving grade bitumen with reclaimed bitumen, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2023, kiadás alatt.
- [12]: e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei (Az 1. sz. módosítással egységes szerkezetbe foglalva) 2021.12.15.
- [13]: Nemesdy, E. 1971: Utak és autópályák pályaszerkezete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [14]: Nemesdy, E. 1989: Útpályaszerkezetek, Útépités II., Tankönyvkiadó, Budapest.
- [15]: LPC Bituminous Mixtures Design Guide, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, September 2007.
- [16]: Austroads 2014, Guide to pavement technology: part 4B: asphalt, 2nd edition, AGPT04B-14, Austroads, Sydney, NSW.
- [17]: National Asphalt Pavement Association, Recycling Hot Mix Asphalt Pavements, Information Series 123, 1996.
- [18]: Visnyovszky, Á. 2016: Benninghoven: Törtaszfalt visszadagoló rendszerek, *Az Aszfalt*, XX. Évfolyam 1.
- [19]: George H. Simmons, Jr., Stockpiles, Technical Paper T-129, Astec, Chattanooga, US, 1996.
- [20]: TL Asphalt-StB 07, Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, ISBN: 978-3-939715-69-6, Ausgabe: 2007/Fassung 2013, FGSV, Bonn, Germany.
- [21]: Wiederverwenden von Asphalt, Deutscher Asphaltverband (DAV), Bonn, Deutschland, 2014.
- [22]: Bodnár, G. & Vass, E. 2001: Betonút Rt. Mezőkövesden felállított, dupladobos rendszerű aszfaltkeverő telepének szakmai bemutatója, *Az Aszfalt*, VIII. Évfolyam, 2001/1 szám.

[23]: Rosta, Sz. 2023: Magas visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek gyártása és beépítése lágyabb bitumen felhasználásával, XXIII. HAPA Nemzetközi Aszfalt Konferencia, 2023. 02.14-15. Siófok.

[24]: e-UT 05.02.15 - Útépítési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt 2008.

[25]: e-UT 05.02.15 - Útépítési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt 2023 (kiadás alatt).