

Az Aszfalt

A Magyar Aszfalttípari Egyesülés

hőpa

hivatalos lapja

XXIX. ÉVFOLYAM 2022/1. szám



Aszfalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

Kilométerek millióit formáljuk.
BOMAG.



2022
június



Az ideális RAP rejuvenátor fő jellemzői

**Dr. Krishna
Srinivasan, Ph.D.**

Sripath Technologies, LLC
New Jersey, USA



**Dr. Deepak
Madan, Ph.D.**

Sripath Technologies, LLC
New Jersey, USA



Bevezetés

Az aszfaltburkolatú utak világméretű hálózata folyamatosan növekszik és korszerűsödik, hogy megfeleljen a növekvő globális gazdaságnak és lakosságnak. Ennek eredményeként az infrastrukturális iparágakban világszerte hiány van a kiváló minőségű bitumenből és adalékanyagokból. Ugyanakkor a globális ipar évente több mint 750 millió tonna regenerált aszfaltburkolatot (RAP) termel.

Egyre több országban alkalmazzák a körkörös gazdaság koncepcióit. Erre válaszul több iparági szakértő és szabályozó ügynökség sürgette a RAP újrafelhasználásának maximalizálását, valamint a szűz bitumen és adalékanyagok szükségességének minimalizálását. Ennek hatékony eléréséhez RAP fiatalítóra van szükség az elöregedett RAP bitumen lágyításához, a bitumen minőségének beállításához, a magas RAP-tartalmú keverékek könnyebb tömörítéséhez. Valamint az az igény is fennáll, hogy az így előállított keverék a RAP nélküli vagy alacsony RAP-tartalmú keverékekhez hasonló közúti teljesítményt és tartósságot biztosítson.

A Sripath Technologies® kifejlesztett és kereskedelmi forgalomba hozott egy „zöld” RAP fiatalítót, a ReLIXER®-t. Ez egy bioalapú olajok elixírje, amelyet úgy terveztek, hogy gyorsan behatoljon a RAP részecskébe és helyreállítsa az elöregedett RAP bitumen tulajdonságainak funkcionális egyensúlyát. Kimutatták, hogy a ReLIXER lehetővé teszi a magas RAP-tartalmú

keverékek használatát, segít csökkenteni a szűz bitumen és adalékanyagok mennyiségét, és csökkenti a keverék összköltségét. Az ilyen magas RAP-tartalmú keverékekkel burkolt utak kiváló nyomvályúsodási, repedési és kifáradási tulajdonságokat mutatnak. Alacsony adagolás mellett rendkívül hatékony, nem veszélyes, biztonságosan kezelhető és könnyen adagolható az aszfaltkeverő üzemben. Segít csökkenteni az üvegházhatású gázok kibocsátását, és összességében alacsonyabb szénlábnymot generál.

Ez a cikk több esettanulmányt mutat be, amelyek bemutatják a ReLIXER® RAP fiatalító hatását az utakon, és bizonyítékot szolgáltat arra vonatkozóan, hogy Észak-Amerikában, Dél-Amerikában, Ázsiában, Ausztráliában és Európában iparági szakértők tesztelték és ellenőrizték ezt az ideális fiatalítót.

Újrahasznosított Aszfalt Burkolatok (RAP)

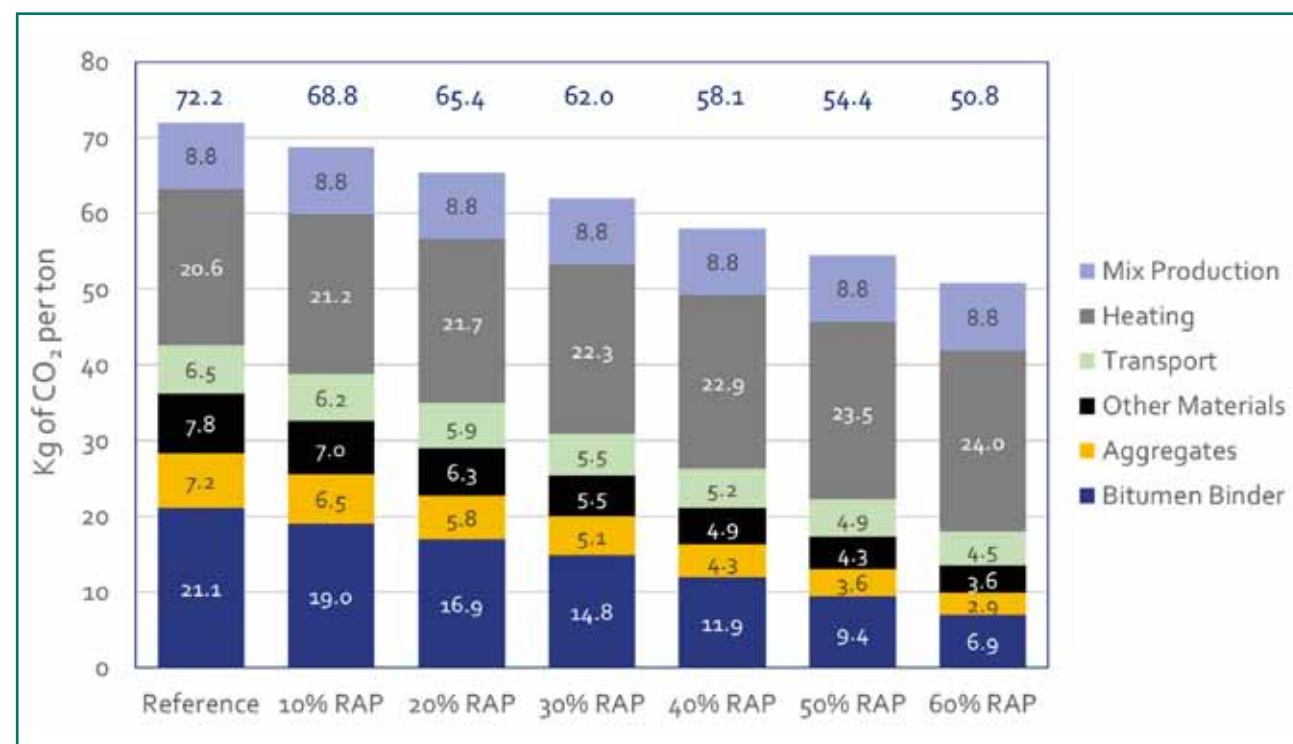
Mivel az utak napfénynek, nedvességnek és hőmérsékletnek vannak kitéve, az aszfaltkeverékben lévő bitumen oxidálódik és elveszti kötő tulajdonságait. Az úttest állapota idővel romlik, ami repedéseket, és fáradási hibákat eredményez. A sérült utak javításakor regenerált aszfaltburkolat (RAP) keletkezik. Világszerte több mint 750 millió tonna RAP keletkezik évente. Átlagosan a RAP-nak csak kis részét, kevesebb mint 20%-át hasznosítják újra, a többit hulladéklerakókba szállítják, vagy egyéb, kevésbé értékes helyeken hasznosítják.

A globális gazdaság és a népesség növekedésével egyre nagyobb szükség van az úthálózat bővítésére a világ országaiban. Ez a természeti erőforrások folyamatos kimerüléséhez vezet az utak építéséhez és újjáépítéséhez – több olaj finomítására van szükség ahhoz, hogy több szűz bitumen álljon elő, és kőbányákat kell működtetni, hogy több friss zúzalékot állítsanak elő.

Ennek a tendenciának a leküzdése érdekében a nemzetek szerte a világon elfogadják a körkörös gazdaság koncepcióját, és igyekeznek maximalizálni a RAP-ot az utak építésére. Az 1. ábra bemutatja a magasabb szintű RAP használatának az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátására gyakorolt pozitív hatását. Ahogy a RAP felhasználás mértéke 0 %-ról 60 %-ra nő, a teljes ÜHG-kibocsátás 72,2 kg-ról 50,8 kg CO₂-ra csökken [1].

Az 1. ábrán bemutatott modell a bitumen kötőanyaggal, adalékanyagokkal, egyéb anyagokkal, szállítással, fűtéssel és keverégyártással kapcsolatos kibocsátásokat tartalmazza. Az életképes megoldás eléréséhez azonban a környezetre gyakorolt hatást egyensúlyban kell tartani a gazdasági életképességgel, valamint az úttest teljesítőképességével és tartósságával.

20% alatti RAP-tartalommal egy forró keverékben, a RAP fiatalító hozzáadása nélkül is legyártható és beépíthető, és a RAP részecskék jellemzően helyettesítik a friss aggregátumok egy részét. Ha több mint 25%-os RAP-ot adnak a keverékhez, a legtöbb szakértő egyetért abban, hogy szükség van egy fiatalító hozzáadására az előregedett RAP bitumen tulajdonságainak újbóli kiegyensúlyozása érdekében.



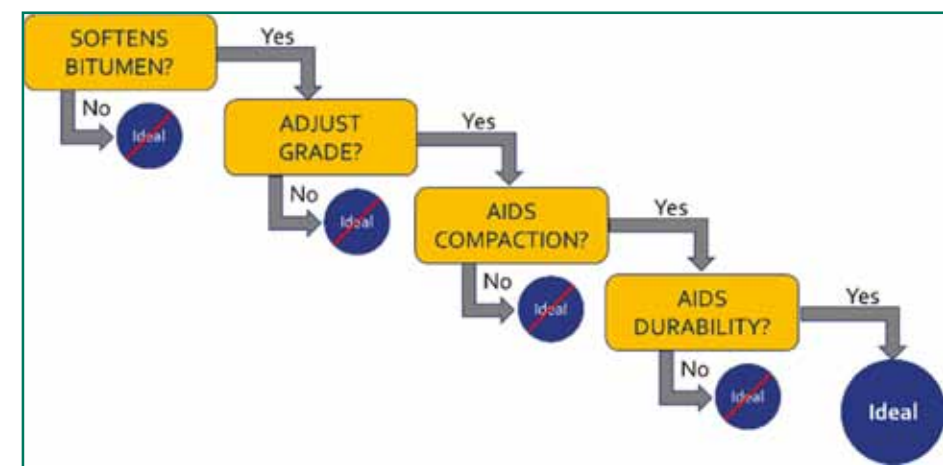
1. ábra: A RAP használatának hatása az üvegházhatású gázok kibocsátására [1]

Az ideális RAP rejuvenátor jellemzői

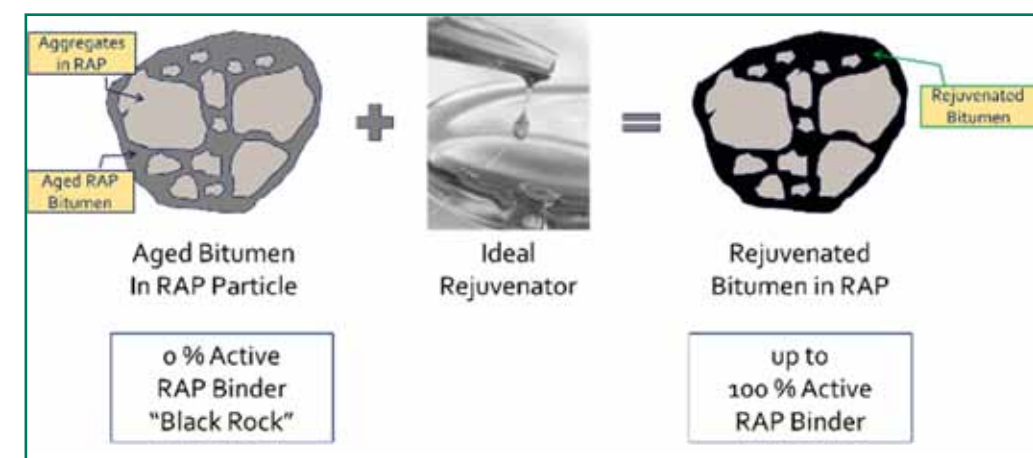
Ahogy a 2. ábrán látható, egy ideális fiatalító lágyítja a bitumént, beállítja a bitumen tulajdonságait, elősegíti az aszfaltkeverék bedolgozhatóságát és kompatibilitását, valamint biztosítja a szükséges úttesti teljesítményt és tartósságot. A 3. ábra vázlatosan mutatja be, hogyan működik egy ideális rejuvenátor a RAP részecskébe

való gyors behatolás és az előregedett bitumen tulajdonságainak funkcionális egyensúlyának helyreállítása révén.

Fiatalító nélkül a RAP nem ad jelentős mértékben aktív kötőanyagot, és a RAP részecskék „fekete kőzetként” viselkednek. Az ideális fiatalító helyreállítja az előregedett bitumen funkcionálisát, és jelentősen hozzájárulhat a keverékben lévő szűz kötőanyag cseréjéhez. Az 1. táblázat összefoglalja egy ilyen ideális fiatalító, a ReLIXER® legfontosabb jellemzőit [2,3].



2. ábra: Elvárások egy ideális rejuvenátorral szemben



3. ábra: Hogyan működik az ideális rejuvenátor

1. táblázat : az ideális rejuvenátor

Környezetbarát	RELIXER®	Felhasználó barát
- Zöld, bioalapú olajok keveréke - Nincs terhelés az élelmiszer forrásokon - Nincenek illékony szerves vegyületek - Csökkentett üvegház hatású gázkibocsátás - Alacsony szénlábnyom		- alacsony adagolási szinteken rendkívül hatékony - Könnyű keverőtelepi adagolás - Nem veszélyes, biztonságosan kezelhető - Kompatibilis minden minőségű bizumennel és RAP-pel a világ minden tájáról
Kiváló burkolat teljesítmény		Csökkenti a gyártási költségeket
- Javítja az alacsony hőmérsékletű tuélajdonságokat - ÖsszehSONLÍTHATÓ Közúti teljesítményt nyújt - Kiváló öregedési tulajdonságot biztosít		- Magas RAP tartalomhoz tervezve - csökkenti a szűz bitumen felhasználást - Csökkenti a friss zuzalék mennyiséget

Kiegyensúlyozott keverék tervezés

Az útpálya előregedésével az adalékanyagok minőségében nincs érzékelhető változás. Másrészt a bitumen oxidálódik és mind fizikailag, mind kémiaiilag megváltozik. A bitumen kötőanyag az életkorral merevebbé és törekenyebbé válik. 25-35 % feletti RAP tartalom esetén gyakran van szükség fiatalítóra az előregedett bitumen működőképességének helyreállításához. Egyre gyakrabban alkalmazzák a Balanced Mix Design (BMD) megközelítést, mint előnyben részesített módszert a nagy RAP-tartalmú keverékek tervezésére. A BMD megpróbálja megtalálni az egyensúlyt a nyomvályúsodási tulajdonságok és a nagy RAP-tartalmú keverékek törési szívóssága/fáradási tulajdonságai között.

A 2. táblázat egy ilyen kiegyensúlyozott keverék tervezési példát mutat be, amely összehasonlítja a ReLIXER/tonna keverék 1 kg-os adagolásának hatását

2. Táblázat

Property	Control	ReLIXER 1 Kg / ton	Criteria
Hézagtartalom, %	3.7	2.4	-
Overlay, # cycles	93	253	>150
Nyomvályú, mm	5.4	6.3	<7.0

Esettanulmányok világszerte

A ReLIXER-t a világ minden tájáról származó akadémiai, szállítási ügynökségek és vállalkozók vezető szakértői ellenőrizték, tesztelték, jóváhagyták/jegyzékbe vették, és megbíztak benne. A terméket kereskedelmi forgalomban utak burkolására használják magas RAP-tartalmú keverékekkel Észak-Amerikában több mint 6 éve, Ázsiában pedig több mint 3 éve. A kísérletek Európában, Dél-Amerikában és Ausztráliában folynak. Az eredmények minden esetben határozottan megerősítik és igazolják a fiatalítás hatékonyságát és előnyeit [4].



(a): in the USA

(b) in India

4. ábra: Magas RAP + ReLIXER tartalmú aszfaltkeverékekkel épített burkolat

30% RAP-val, 5% RAS-val és 5,5% Virgin Binderrel.

Ezek az adatok egy terepróba alapján, amelyet egy vállalkozó végzett az Egyesült Államok északkeleti régiójában. A Mix-ből kivont bitumen PG osztálya 74,0-26,4 volt. Az úttest egy részét ellenőrző keverékekkel burkolták, RAP vagy rejuvenátor nélkül.

A magas RAP/RAS keverék fiatalítóval kiváló Texas Overlay teljesítményt* és elfogadható nyomvályúsodási tulajdonságokat mutatott. Meg kell jegyezni, hogy a vizsgált keverék hézagtartalma alacsonyabb szinten volt a kontrollhoz képest, mivel a vizsgált Mixben a szűz bitumenszintet nem állítottuk be a megfiatalított RAP kötőanyag kompenzálására. A vállalkozó további kísérleteket végzett, és a ReLIXER-t tartalmazó, nagy RAP-tartalmú keverékek kereskedelmi felhasználására szolgáló keveréktervezés mellett döntött.

Amerikai Egyesült Államok közép-atlanti régiója:

Magas RAP/RAS keverékek

A 3. táblázat összefoglalja a nagy mennyiségű regenerált aszfaltburkolatot (RAP) és regenerált aszfaltzindelyt (RAS)** tartalmazó keverékek használatának hatását a kivont bitumen tulajdonságaira. Négy keveréket értékelt egy vállalkozó az Egyesült Államok közép-atlanti régiójában. Minden keveréket fiatalítással és anélkül értékelték. Például a Mix 1A és Mix 1B Mix 40% RAP-ot tartalmazott. Az 1A keverék nem tartalmazott fiatalítót, míg az 1B keveréket 0,28 tömeg% fiatalítószerrel adagoltuk. A rejuvenátor hatása a viszkozitás, az alacsony hőmérsékletű

valós minőség és a penetráció drámai javulásában mutatkozik meg. Mivel a teljes újrahasznosított bitumentartalom (ABR) az 1. keverék körülbelül 45 %-áról körülbelül 82 %-ra nő a Mix 4 esetében, a fiatalítás előnyei, amint az a kivont kötőanyag tulajdonságaiból is látható, drámai és nyilvánvaló.

A 3. táblázat azt mutatja, hogy a ReLIXER nemcsak hatékonyan tudta helyreállítani az előregedett bitumen tulajdonságainak funkcionális egyensúlyát, hanem lehetővé teszi az alacsonyabb szűz bitumen hozzáadását is a keverékhez. E kiterjedt tesztmátrix alapján a vállalkozó személyre szabott keverékeket fejlesztett ki bizonyos burkolási munkákhoz, és rendszeresen alkalmazza a ReLIXER-t a magas RAP keverékekben.

3. Táblázat

Mix #	RAP-5% PG 110-9 Binder %	RAS-20% Post Con. Binder %	Total RAP / RAS %	Virgin Bitumen %	ReLIXER (mix. wt. %)	Recycled Bitumen Content %	High Temp. True Grade °C	Low Temp. True Grade °C	Viscosity cps @ 135 °C	Softening Point °C	Pen dmm
Mix 1A	40	0	40	2.50	0.00	44.4	82	-14	8500	81	16
Mix 1B	40	0	40	2.15	0.28	45.1	76	-22	3000	61	32
Mix 2A	30	5	35	2.50	0.00	50.0	98	-15	9500	87	12
Mix 2B	30	5	35	2.15	0.28	50.7	87	-24	3100	65	30
Mix 3A	45	5	50	1.60	0.00	67.0	94	-7	12500	83	10
Mix 3B	45	5	50	1.20	0.45	66.3	83	-21	3800	59	28
Mix 4A	50	10	60	0.90	0.00	83.3	104	-6	47600	106	4
Mix 4B	50	10	60	0.90	0.90	81.4	80	-23	4800	69	30

Észak-India: 50 % és 60 % mart aszfalt tartalmú, DDB-II elnevezésű alaprég:

Egy indiai ügyfél kísérletet végzett az ország északi régióiban, és 50% és 60% RAP-t, illetve 0,2% és 0,3% fiatalítószerrel tartalmazó KM alapréteget épített meg.

4. táblázat: 50%-os és 60%-os RAP-pal kevert az alaprég India északi régiójában végzett terepróba alapján

RAP %	ReLIXER %	Density g/cm ³	Stability kN	Flow mm	Air Voids %
50	0.2	2.382	15.2	3.1	3.10
60	0.3	2.387	15.1	3.2	3.23

A kísérlet eredményeit a 4. táblázat foglalja össze. Az ügyfél ma már rutinszerűen magas RAP-keverékeket használ a ReLIXER-rel együtt az alaprég burkolásához Indiában.

Az Illinois State Tollway Highway Authority által az egyetlen jóváhagyott rejuvenátor

A ReLIXER az egyetlen fiatalító, amelyet az Illinois State Toll Highway Authority ("Illinois Tollway") hagyott jóvá kereskedelmi használatra [5]. Az Illinois Tollway egy 475 kilométeres hálózat, amely hat fizetős autópályából áll az Egyesült Államok Illinois államában. A hálózat 6-12 sávós autópályákból áll, amelyek nagy forgalomnak és szélsőséges időjárási viszonyoknak vannak kitéve. Illinois államban az átlagos téli hőmérséklet -12 °C, a nyári átlaghőmérséklet 30 °C, a havazás körülbelül 350-975 mm, a csapadék pedig körülbelül 800-1200 mm évente.

A jóváhagyási folyamat részeként Sripath együttműködött a Wisconsin Egyetemmel; a S.T.A.T.E. Teszt-tel; a Plote Company-val***, és az Illinois Tollway Authorities-sel. Közel 5000 tonna 40%-os ABR-keveréket****állítottak elő 8 sáv-km (5 sáv mérföld) felső, alap- és kötőréteg kialakításához az Egyesült Államok I-88-as és I-294-es autópályáján, valamint néhány magánúton a környéken. [6].

A kísérlet eredményeit az 5. táblázat foglalja össze. A teljes bitumentartalom 2,0%-ánál és 3,6%-ánál alkalmazott rejuvenátor-adagolást értékelték. Összehasonlításképpen egy lágyabb bitumen keveréket is értékelték. Ehhez a kísérlethez egy robusztus kiegyensúlyozott keverék tervezési protokollt alkalmaztak.

A RAP-ot és a rejuvenátort tartalmazó keverékek kiváló törésállóságot mutattak: a 2% ReLIXER-t tartalmazó keverék DCT-értéke 497 J/m², a 3,6% ReLIXER-t tartalmazó

keverék esetében pedig 544 J/m², míg a lágyabb bitumen-keveréknél csak 435 J/m². . A hamburgi nyomvályúsodási ellenállás eredménye 8,70 mm, illetve 8,77 mm volt a magas RAP-keverékeknél, szemben a puhább bitumenkeverék 6,34 mm-es értékével. A magas RAP keverékek kiváló deltaTc tulajdonságokat is mutattak. Így a fiatalító nagyon hatékonyan behatolt a RAP részecskébe és megfiatalította az előregedett bitument.

Ezenkívül a vállalkozó csökkenteni tudta a teljes keverési költséget azáltal, hogy csökkentette a munkához szükséges szűz bitumen mennyiségét. Ugyanakkor a fiatalító hatású magas RAP-tartalmú keverék megfelelt az Illinois Tollway Authority által meghatározott összes előírásnak és célnak.

New York City: 100% RAP

Egy másik példaként a ReLIXER®-t egy 100%-os RAP projektben használták New Yorkban. Körülbelül 4 éve burkoltak le egy útszakaszt, amelyen nagyon nagy a forgalom, a stop and go forgalom és a szélsőséges időjárás. A ReLIXER®-t közvetlenül a RAP részecskékre permetezték a keverék 0,55 tömeg%-ának megfelelő adagolási szinten, anélkül, hogy a keverékhez új kötőanyagot vagy aggregátumokat adtak volna. Mind a laboratóriumi vizsgálatok, mind a terepi próbatestek eredményeit a 6. táblázat foglalja össze. A burkolt út megfelelt a helyi közlekedési hatóságok által meghatározott összes előírásnak. A 0,55% ReLIXER®-t tartalmazó magas RAP-keverék 3,9% Marshal hézagot, 2110 kN stabilitást és 9,9 mm-es folyás értéket tartalmazott. A magas RAP-keverék 10,9 mm-es nyomvályúsodási ellenállást mutatott 10 000 ciklusnál és 14,6 mm 20 000 ciklusnál. Az SCB teszttel mért törési ellenállás 0,71 kJ/m² JC értéket mutatott 25 °C-on.

5. táblázat: Hatás az 50 % ABR-t tartalmazó gyártási keverékek tulajdonságaira
Az Illinois Tollway-n végzett terepróbbák alapján

Property	PG 46-34 Mix*	PG 58-28 + ReLIXER (2.0% Tot AC) Mix	PG 58-28 + ReLIXER (3.6% Tot AC) Mix	Specification (Target)
DCT -12°C, J/m ²	435	497	544	450
Hamburg, mm@20,000	6.34	8.70	8.77	12.5 @ 10,000
Voids, %	3.7	3.6	4.9	4.0
Total AC, %	6.0	6.1	5.8	6.1
Virgin AC added, %	4.3	4.0	3.7	-
AC Grade	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-28	PG 64-22
ΔT _C , °C	-5.8	-5.4	- 3.7	-6.0
* Egy fokozattal lágyabb				

6. táblázat: 100 % RAP Mix Fiatalítóval; Drum Mix keverő
A New York-i terepróbbák alapján

LAB DATA Using Marshall	Air Voids %	Stability kN	Flow mm
0.55% ReLIXER	3.9	2110	9.9
Specification	3.5-5.5	>1500	8.0-12.0

FIELD CORE DATA	Avg. Air Voids, %	SCB		Hamburg		
		Avg. Air Voids, %	JC, kJ/m ² @ 25 °C	Avg. Air Voids, %	Rutting @ 10K cycles, mm	Rutting @ 20K cycles, mm
0.55% ReLIXER	4.2	4.3	0.71	4.1	10.9	14.6
Specification	3.5-5.5	3.5-5.5	0.50	3.5-5.5	<12.5	Tertiary

Javítási és karbantartási alkalmazások a ReLIXER-hez

A ReLIXER-t útjavítási és -karbantartási feladatokhoz is használják. A 7. táblázat két példát mutat be az ilyen alkalmazásokra: (A) Hot Patch Mix és (B) Cold Patch Mix.

A Hot Patch Mix melegen használható a kátyúk gyors és hatékony javítására, és az út azonnali megnyitására a forgalom előtt. Például egy város New York állam legészakibb régióiban Hot Patch Mixet használt, amely 100% RAP-ból és 0,9% ReLIXER-ből állt.

A keveréket hordozható dobban 120 °C-on 3-4 órán át melegítették. Az üzemeltetők kisöpörték a kátyút, megtöltötték a Hot Mix-el, és vagy egy hengert futtattak, vagy kézzel bedöngölték a Mix-et a kátyúba, és megnyitották az utat a forgalom előtt.

A Cold Patch Mix-et jellemzően melegkeverő üzemben állítják elő, nagy mennyiségű RAP-t (70+%), valamint friss adalékanyagot, bitumenes anti strip adalékot**** és ReLIXER-t használva. A Mixet az USA északi régióiban a téli hónapokban egy udvaron tárolják, és kátyúk kitöltésére és foltozására használják, amikor túl hideg van az utak burkolásához.

7. táblázat: Meleg és hideg útkeverékek javítási és karbantartási alkalmazásokhoz

(A) Hot Patch Mix New York állam északi részén végzett terepróbbák alapján

RAP %	ReLIXER %	Heated to Temp., °C	Heated for Time, hrs.	Procedure
100	0.9	120	3 to 4	Sweep, Fill, Tap or Roll

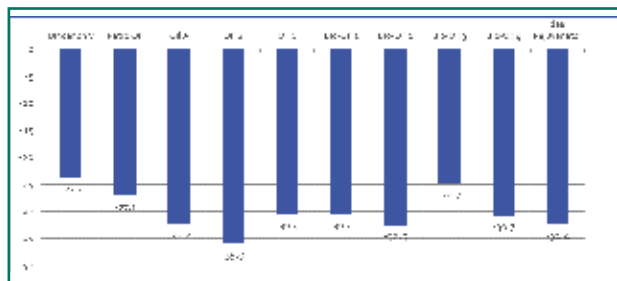
Patch Mix az USA északkeleti régiójában végzett terepróbbák alapján (B) Cold

Stone	RAP	Anti-Strip	ReLIXER	TOTAL
25 %	69 %	4 %	2 %	100 %

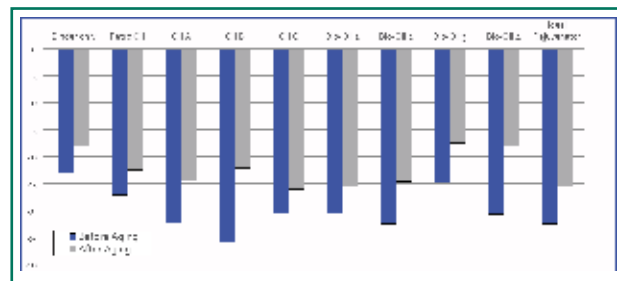
A magas RAP-tartalmú kátyúzós keverékek használatának fő előnye, hogy több RAP-t használhatunk fel, és csökkenthetjük a hulladéklerakóba kerülő RAP mennyiségét. Ezek a használatra kész karbantartási technikák könnyen gyárthatók, könnyen használhatók, és általános költségmegtakarítást eredményezhetnek.

Hatás a közúti teljesítményre és tartósságra

Az életképes rejuvenátor kifejlesztésének korai szakaszában felfedezték, hogy jelentős eltérések vannak a különböző forrásokból származó és ugyanazon RAP-halmon belüli RAP minőségében és jellemzőiben. Ennek az aggálynak a megoldására a Wisconsin Egyetem Modifikált Aszfaltkutató Központja (MARC) kifejlesztett egy vizsgálati protokollt a RAP-ban előregedett bitumen laboratóriumi méretekben történő szimulálására [7]. A protokoll lehetővé teszi az előregedett RAP bitumenminták előállítását a szűz bitumen laboratóriumi körülmények között végzett ellenőrzött kezelésével, szimulálva az előregedett útpálya különböző korát.



(a): Before Aging



(b) After Aging

5. ábra: A fiatalítás génjei: Különböző fiatalítók öregedési reakcióinak összehasonlítása

Kezdeti szűrés eszközként a mesterségesen öregített bitumenmintákat a MARC protokoll segítségével állítottuk elő. A mesterségesen öregített bitumenhez sokféle petrokémiai olaj és bioolaj alapú rejuvenátor körülbelül 5 tömeg %-át adtuk, és megmértük a megfiatalított bitumen alacsony hőmérsékletű valódi minőségét. Az alacsony hőmérsékletű True Grade-t általában a repedés- és fátagságállóság helyettesítőjének tekintik. Több mint 50 potenciális fiatalítót értékeltünk ezzel a tesztrendszerrel. Az 5. ábra a legjobb kilenc jelölt eredményeit mutatja be. Amint az 5(a) ábrán látható, a B olaj volt a legjobb potenciális jelölt. Amikor azonban a megfiatalított RAP bitumenmintákat tovább öregítették, hogy szimulálják a megfiatalított útpálya öregedését, a B olaj alacsony hőmérsékletű tulajdonságai jelentősen romlottak, amint az az 5(b) ábrán látható. Az általános ideális válasz az

a jelölt, amely magas kezdeti adagolási hatékonyságot mutat, és a legkisebb eltérést mutat az öregedés előtti és utáni reakciók között. A ReLIXER® bio-alapú olajok egyedülálló keveréke, amelyet kifejezetten az előregedett bitumen hatékony megfiatalítására és kiváló öregedési reakcióra fejlesztettek ki.

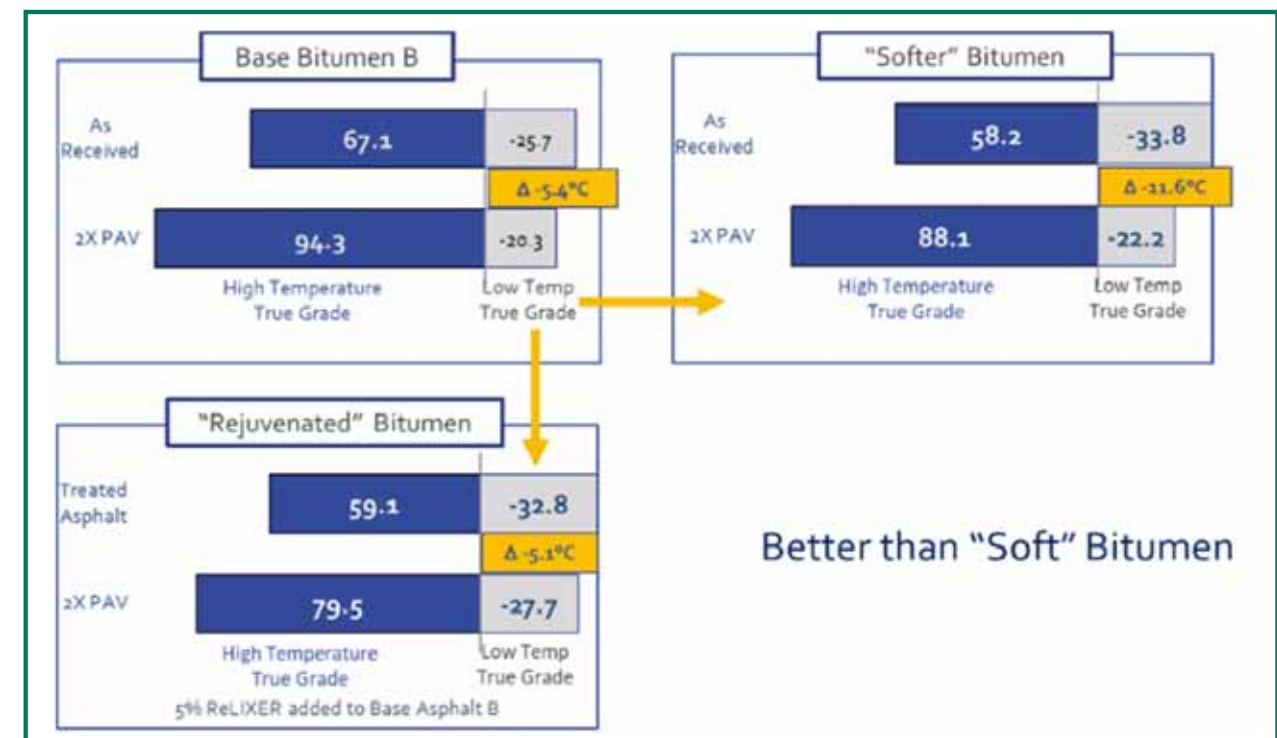
A 8. táblázat két magas RAP-keverék, (25% RAP és 50% RAP) kopóréteggént való elhelyezésén alapuló eredményeket foglalja össze az USA-ban. A 25%-os RAP Mix tonnánként 0,5 kg ReLIXER-t és 3,4% szűz bitumént, PG 64-22 tartalmazott. Az 50%-os RAP Mix tonnánként 1 kg ReLIXER-t és 2,4% szűz bitumént tartalmazott. A bitumenek összmenyiségét 5,6 % körül célozták meg. Mindkét keverék kiváló egyensúlyt eredményezett a nyomvályúsodási ellenállás és a törésállósági tulajdonságok között.

8. táblázat: nyomvályúsodási és repedéssel szembeni ellenállás magas RAP tartalmú keverékekben
Az USA-ban használt kopó réteg összetételén alapul

Mixture Type	25% RAP	50% RAP
ReLIXER, Kg/ton of mix	0.5	1.0
Virgin bitumen added, %	3.4	2.4
Rutting: Hamburg Wheel-Track Testing		
Max Rut Depth, mm	4.19	3.46
Creep Slope, mm/1000 pass	-0.11	-0.08
Fracture Toughness: Ideal CT Test-Short Term Aged Condition		
Ideal CT index	41.7	64.2
Post-Peak Slope, kN/mm	-4.9	-4.1
Fracture Toughness: Ideal CT Test-Long Term Aged Condition		
Ideal CT index	15.7	26.0
Post-Peak Slope, kN/mm	-10.7	-7.3

A „puhább” minőségű bitumént használták és használják továbbra is a RAP keverékek megfiatalítására. A „puhább” bitumen elérésére alkalmazott módszerek azonban jelentősen befolyásolhatják a keverék eredő tulajdonságait.

A 6. ábra egy alapbitumen, a ReLIXER-rel megfiatalított alapbitumen és egy „puhább” minőségű bitumen öregedési viselkedését mutatja be, amely ugyanabból a forrásból származik, mint az alapbitumen. Mindegyik mintát a PAV-ban öregítettük, és hajlító gerenda-reometriai Bending Beam Rheometry (BBR) tesztnek vetettük alá a delta Tc értékek meghatározására [8,9]. Amint az ábrán látható, a megfiatalított minta szorosan megőrzi az alapbitumen delta Tc-jellemzőit, míg a „puhább” minőségű bitumennek megengedhetetlenül magas a delta Tc értéke az öregedés során.

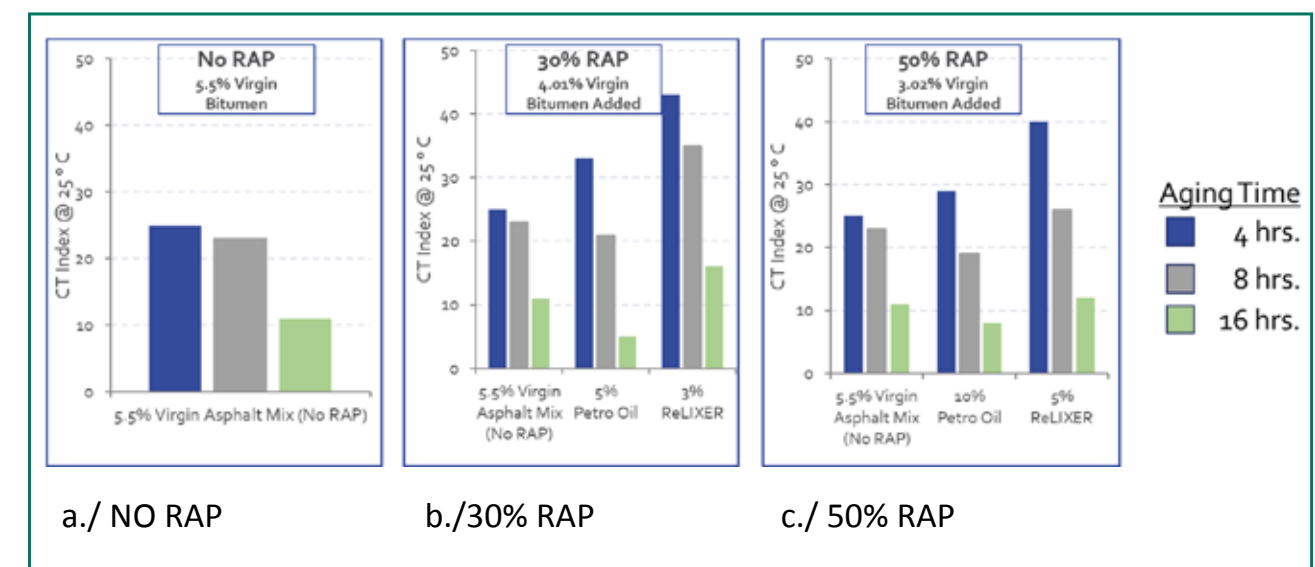


6. ábra: Öregedési viselkedés: „Bitumen + ReLIXER” vs. „Lágy” bitumen

A 7. ábra a rejuvenátorral adagolt keverékek törési szilárdságát hasonlítja össze a petrokémiai finomított olajat tartalmazó keverékekkel.

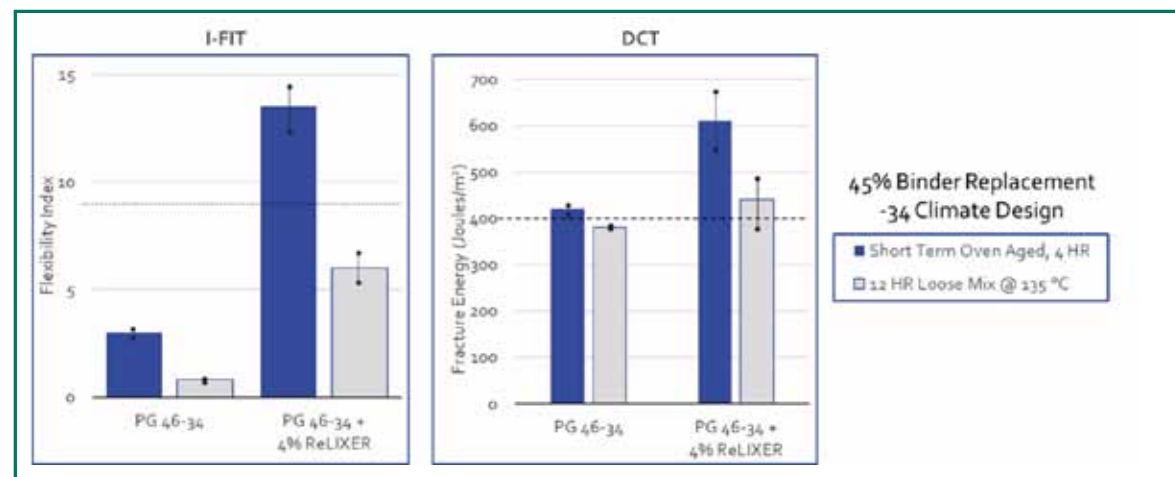
A RAP nélküli, 30 % RAP és 50 % RAP keverékek ideális CT indexét a laza keverékű szárító kemencében 4, 8 és 16 órás öregítési időkhöz hasonlították össze.

Amint az ábrán látható, a ReLIXER-rel adagolt keverékek jobb törésállóságot mutattak, mint a petrokémiai olajjal adagolt keverékek. A magas RAP-tartalmú keverékek öregedési teljesítménye megegyezett a RAP nélküli keverékekével.



7. ábra: Különböző szintű RAP-tartalmú keverékek törési szívóssága, CT-indexe, különböző öregedési rendszerek mellett

A 4% ReLIXER-rel adagolt, 45% kötőanyag-helyettesítővel adagolt, közepes forgalmú utak esetén a magas RAP-tartalmú keverékek törési szilárdságát a 8. ábra mutatja.

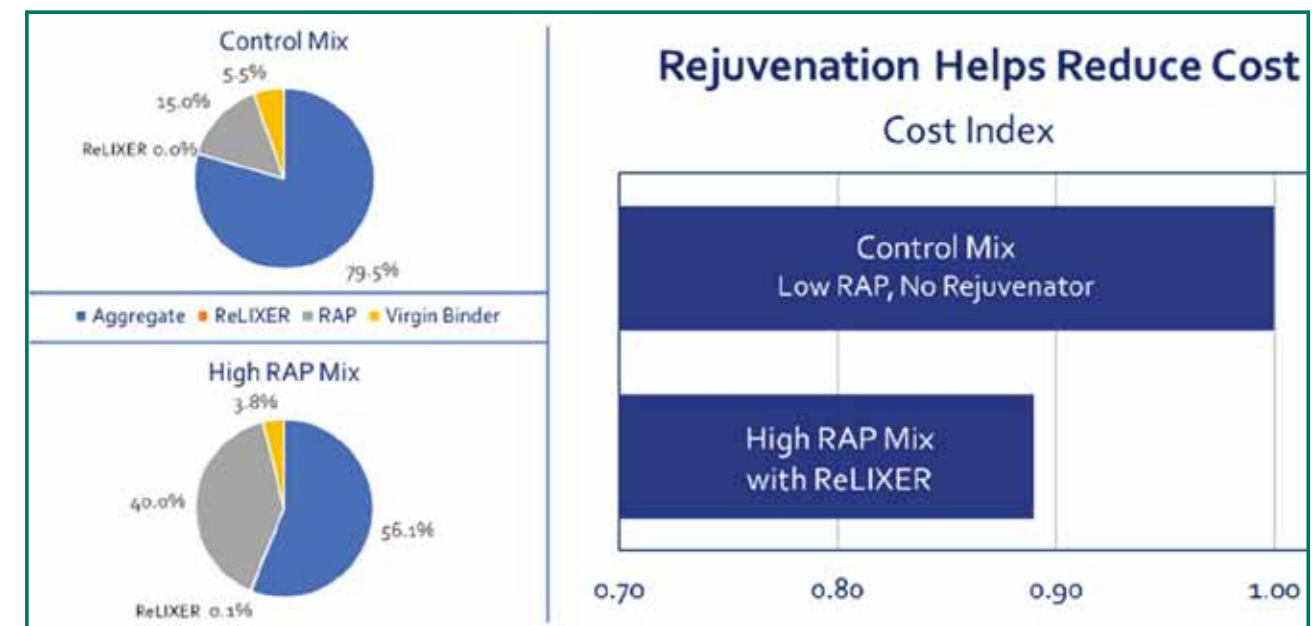


8. ábra: Út pálya törési szilárdsági tulajdonságai magas RAP + ReLIXER mellett közepes forgalmi körülmények között

Két érlelési módot értékelték – egy rövid távú, 4 órás kemencében és egy 12 órás laza keverésű kemencében 135 °C-on. A 8. ábra az I-FIT rugalmassági indexet és a DCT törési energiát mutatja Joule/m²-ben mind az alapkeverék, mind a magas RAP-keverék esetén. A ReLIXER-rel adagolt keverék kiemelkedő törésállósági tulajdonságokat mutatott mindkét öregedési rendszerben. Összehasonlításképpen a keveréket „puhább” minőségű kötőanyaggal is elkészítették, és az I-FIT és DCT eredmények alapján értékelték, amelyek rosszabbak voltak, mint a megfiatalított keverékek.

A 20-, 40- és 60 órás PAV-öregítés hatását a kivont bitumen merevségére (MPa) és m-értékére (BBR-vel meghatározva) egy no-RAP keverék és egy magas RAP-tartalmú megfiatalított keverék esetén hasonlítjuk össze a 9. ábrán. A magas RAP-Mix ABR 46%-os volt. Amint az ábrán látható, az extrahált bitumen öregedési teljesítménye fiatalított keverékben hasonló volt a no-RAP-t tartalmazó keverékekhez.

A 10. ábra bemutatja, hogy a ReLIXER hogyan segíthet csökkenteni a keverék összköltségét. A 79,5% friss adalékanyagot, 15% RAP-ot, 5,5% szűz kötőanyagot és fiatalítószert nem tartalmazó kontroll keveréket 1,0-s költségindexhez rendeltük. Az 56,1% friss adalékanyagot, 40% RAP-ot, 3,8% szűz kötőanyagot és 0,1% ReLIXER-t tartalmazó magas RAP-tartalmú Mix költségindexe 0,89 volt. A magas RAP-tartalmú keverékek alacsonyabb költségét az ilyen keverékekben található friss adalékanyagok és új kötőanyagok csökkent mennyisége okozza. A nyersanyagköltségektől és az üzemeltetési paraméterektől függően általában 5-15%-os megtakarítást értek el a különböző vállalkozók szerte a világon.

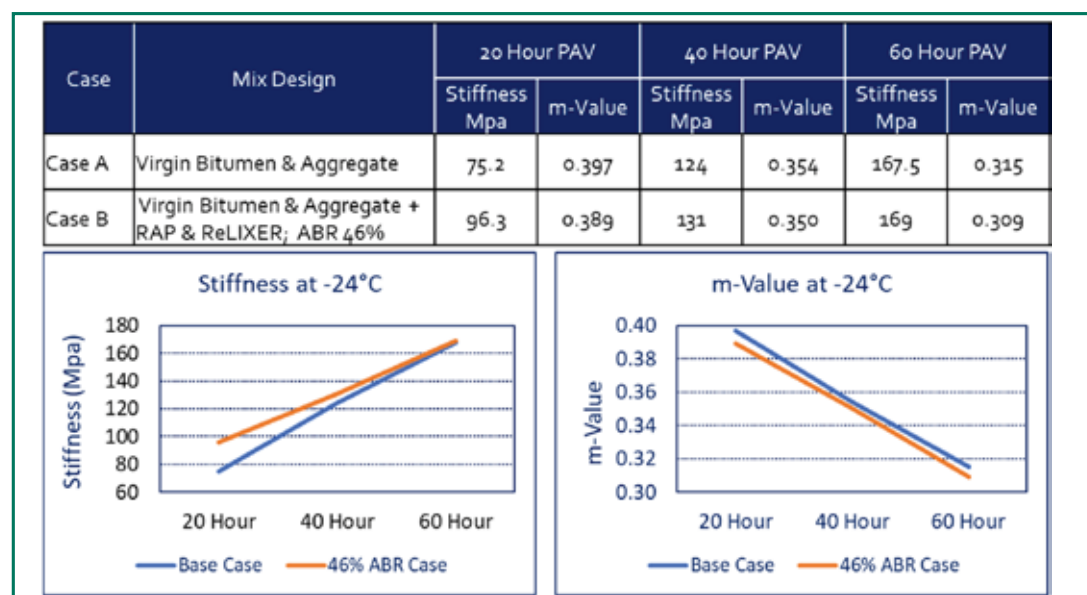


10. ábra: Keverési költség csökkentése ReLIXER-rel

A RAP beépítése egy aszfalt keverő üzemben

Amikor nagy mennyiségű RAP-ot építenek be egy aszfaltkeverő üzembe, fontos gondoskodni arról, hogy a RAP halom megfelelően homogenizálva legyen, és két vagy több méretű frakcióra legyen osztályozva – lásd a 11. ábrát.

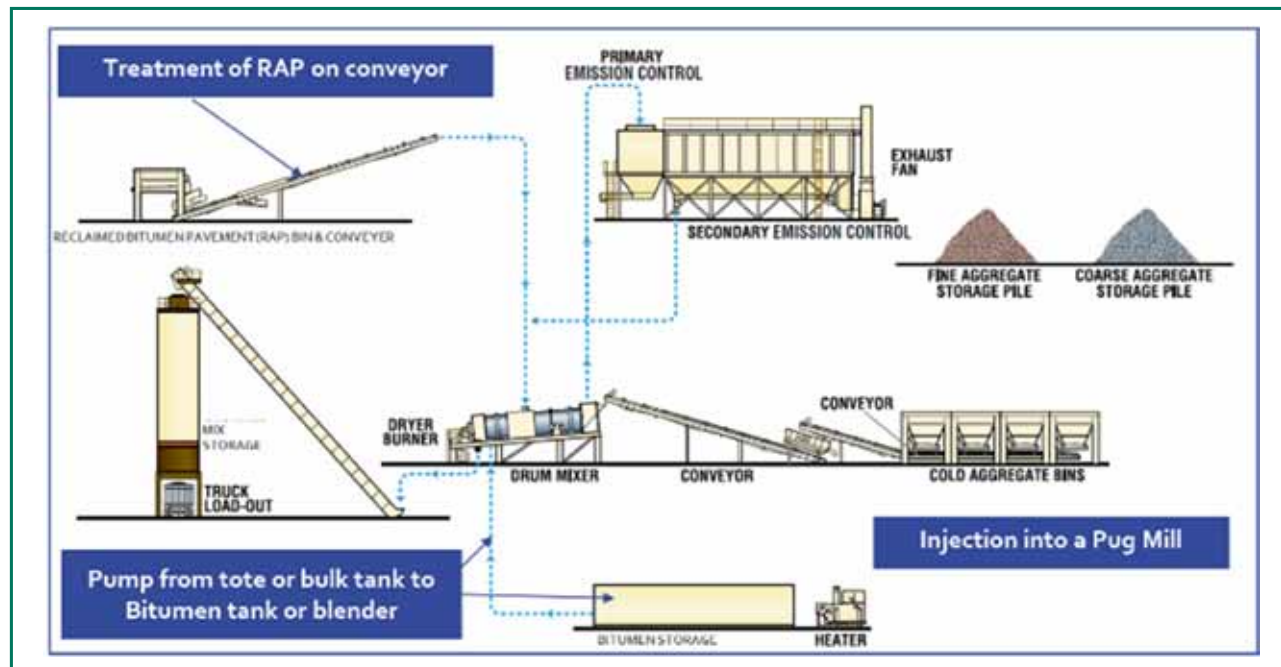
Ügyelni kell arra, hogy minimálisra csökkentsük a por mennyiségét a RAP-ban, és gondoskodjunk a megfelelő halmazállapotról. Gyakran szükséges a RAP előmelegítése a maximális működési hatékonyság és a keverék magasabb RAP-tartalmának elérése érdekében. A RAP nedvességtartalmát figyelni kell, és minimálisra kell csökkenteni (például a RAP lefedése ponyvával), mivel ez termelési problémákat okozhat, és alacsonyabb RAP-tartalmú keverékeket eredményezhet. Nyomatékosan ajánlott, hogy a RAP-ot úgy kezeljék, mint bármely más bemeneti nyersanyagot, és alaposan elemezzenek és jellemezzék.



9. ábra: extrahált bitumen öregedési hatásai: Nincs Az RAP vs. RAP + ReLIXER



11. ábra: A RAP előkészítése a keverőüzemben való beépítéshez



12. ábra: A ReLIXER egyszerű beépítése Meglévő keverőüzemi műveletek

Viszonylag könnyű kis mennyiségű RAP-ot (20-35 %) bekeverni egy keverőüzemben. Nagyobb működési figyelemre és a fenti irányelvek betartására van szükség ahhoz, hogy 40–70%-os RAP-ot beépítsünk egy keverékbe. A 100%-os RAP megcélzása egy mixben jelentősen magas szintű kifinomultságot, működési know-how-t és igényes folyamatvezérlő protokollokat igényel.

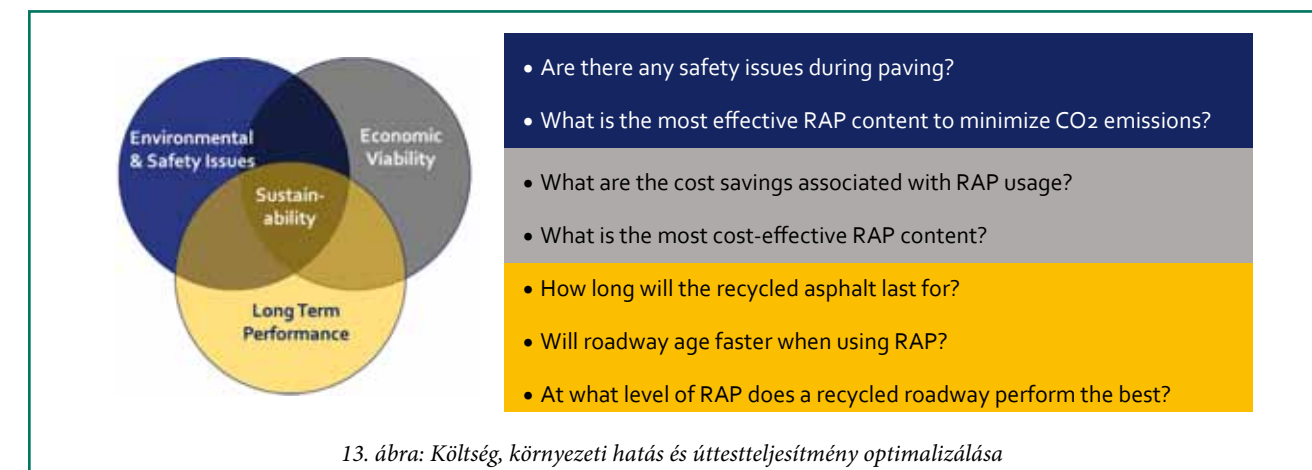
A 12. ábra különböző lehetőségeket mutat be arra vonatkozóan, hogyan lehet a ReLIXER-t beépíteni egy meglévő üzemi működésbe. A ReLIXER alacsony viszkozitású, és a legtöbb körülmény között szabadon folyik. Ezenkívül befeckendezhető a bitumen betápláló vezetékbe, keverhető bitumen ömlesztett tartályokba, közvetlenül a RAP-ra per-

metezhető egy szállítószalagon, vagy beépíthető szakaszos üzemi műveletekbe.

A 9. táblázat összefoglalja a ReLIXER-rel kapcsolatos legfontosabb üzemi környezeti, egészségügyi és biztonsági tényezőket. A fiatalító környezetvédelmi szempontból fenntartható, nincs szaga, nem tartalmaz illékony szerves anyagokat, alacsony az üvegházhatású gázok kibocsátása és alacsony a szén-dioxid-kibocsátás. Alacsony viszkozitású, magas lobbanáspontú, szállítása nem veszélyes, és nem termel hulladék mellékterméket. Ezenkívül biztonságos a kezelése és használata, nem igényel speciális személyi védőfelszerelést, és stabil keverési, használati és tárolási hőmérsékleten.

9. táblázat: A ReLIXER üzemi EHS-hez kapcsolódó jellemzői

környezetileg fenntartható	alacsony viszkozitás, szabadon folyó	Biztonságod kezelés&használat
Nincs szag. Nincs VOC.	Magas lobbanáspont	Nincs szükség speciális védőfelszerelésre
Alacsonyabb emisszió	Nem veszélyes szállítás	Stabil keverési, használati és tárolási hőmérsékleten
Alacsonyabb szénlábnyom	Nincs hulladék melléktermék	



13. ábra: Költség, környezeti hatás és úttestteljesítmény optimalizálása

Következtetések

A magas RAP-mix megtervezésekor számos paramétert kell figyelembe venni, számos tényezőtől függően. Ahogy a 13. ábrán látható, az ideális rejuvenátor kiválasztása egyensúlyt jelent a gazdasági életképesség, a környezetvédelmi és biztonsági kérdések, az előírásoknak való megfelelés és az útpálya hosszú távú teljesítményének értékelése és optimalizálása terén. A ReLIXER® megfelel az ideális fiatalító minden kulcsfontosságú kritériumának. Bio-alapú olajok különleges keveréke, amely környezetileg fenntartható forrásokból származik. Alacsony adagolás mellett rendkívül hatékony, és csökkenti a keverési költséget. Gyorsan behatol a RAP részecskébe, hogy megfiatalítsa és helyreállítsa az előregedett bitumen funkcionalitását, miközben kiváló teljesítményt és kiemelkedő tartósságot biztosít az utakon.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők elismerik Angela Staudinger (angela@sripathinnovations.com) és Ranjeet Sandhu (rangeet@sripathinnovations.com) elhivatottságát a Sripath Innovations Ltd-től, hogy kiemelkedő szolgáltatást és technikai támogatást nyújtsanak az európai ügyfeleknek. Ezenkívül a szerzők hálásak a felbecsülhetetlen értékű technikai támogatásért Hussain Bahía professzornak, a Wisconsin Egyetem MARC igazgatójának, a Sripath Technologies®-nek (www.Sripath.com) nyújtott.

Megjegyzések:

* A Texas Overlay Test egy általánosan elvégzett teszt az aszfaltkeverékek fáradtságállóságának meghatározására. Az USA számos állama szabványként használja az aszfaltkeverékek teljesítményének értékelésére. Itt található hivatkozás a tesztre: https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/TMS/200-F_series/archives/248-0109.pdf

** Az USA-ban, Kanadában és bizonyos más országokban a bitumen gyakori alapanyag a tetőfedéshez (például fa, pala, cement stb.). Az ilyen országokban a lakások tetőfedésének legelterjedtebb formája az „aszfaltzsindely”. A tető hasznos élettartama után az ezekből az aszfaltzsindelyekből visszanyert bitument RAS-nak nevezik.

Képek és hivatkozások: <https://www.google.com/search?q=asphalt+shingles&sxsrf>

***S.T.A.T.E. A Testing egy akkreditált vizsgálólaboratórium cégneve az USA középnyugati részén. A Plote Company egy utak burkolását végző vállalkozó cégneve.

**** Az ABR az „Aszfalt kötőanyag-csere” tartalomra utal, és azt jelenti, hogy a keverékben az újrahasznosított tartalomtól származó összes kötőanyag százalékos aránya. Pontosabb ábrázolásként használják, mint a RAP százalékos arányát egy aszfaltkeverékben.

***** Anti-strip agent: az aszfaltkeverékhez hozzáadott vegyszerek egy osztályára vonatkozik, hogy javítsa a burkolat víz-/nedvességkárosodással szembeni ellenállását. Elősegíti a kötőanyag jobb tapadását az adalékanyaghoz.

Irodalom

- 1) N. Michael, Executive Director AfPA, “AfPA Tech Talk: High RAP Asphalt Mixes and the Role of Rejuvenators”, November 23, 2021, organized by AfPA, Australia.
- 2) “RELIXER: The Market Leader in RAP Rejuvenation Technology”, Sripath Technologies LLC, January 2022, <http://www.sripath.com>.
- 3) “Safety Data Sheet: ReLIXER”, Sripath Technologies LLC, January 2022, <http://www.sripath.com>.
- 4) “ReLIXER: An Overview of the Leading RAP Rejuvenation Technology”, Sripath Technologies LLC, January 2022, <http://www.sripath.com>.
- 5) “Approved List of Asphalt Binder & Mixture Modifiers”, Illinois Tollway Authority, January 27, 2021.
- 6) S. Rotz, Additive Advisors LLC, “Rejuvenating Agent Maximizes Illinois Tollway Recycle”, AsphaltPro, February 2021.
- 7) H. Bahía, Vilas Distinguished Professor, Director MARC, University of Wisconsin; various published papers, presentation and private communications, 2006 to 2021.
- 8) R. M. Anderson, G. N. King, D. I. Hanson and P. B. Blankenship, “Evaluation of the relationship between asphalt binder properties and non-load related cracking”, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 80, 615–663, 2011.
- 9) R. M. Anderson, “Delta Tc: Concept and use”, Past, Present & Future of Asphalt Binder Rheological Parameters, Transportation Research Board Circular Number E-C241, 21–44, Washington DC, 2019, <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec241.pdf>.