

Az Aszfalt

A Magyar Aszfalttípari Egyesülés

hőpá

hivatalos lapja

XXIX. ÉVFOLYAM 2022/1. szám



Aszfalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

Kilométerek millióit formáljuk.
BOMAG.



2022
június

Az EAPA és az Eurobitume izgatottan várják, hogy ismét egyedülálló interaktív vitafelületet kínálhassanak Önnek a bitumen- és aszfaltiparral kapcsolatos valamennyi érdekelt fél számára!

A bécsi **E&E Event 2022** folytatja a 2018-ban elindított koncepciót, amely a 2021-es E&E Congress néhány fókuszterületére épít: „Asphalt 4.0 and Future Mobility”. A Kongresszuson kiemelt iparági témák, például a digitalizáció, a mobilitás, a fenntarthatóság és az egészség és biztonság, bekerülnek a programba.

Bécs elbűvölő városa ad otthont az E&E Eventnek 2022. november 14-15-én a Hilton Park Hotelben, amely könnyen megközelíthető a város központjában, sétatávolságra számos kulturális és történelmi látnivalótól, hogy még élvezetesebbé tegye az élményt!

Az E&E Event két napja során arra törekszünk, hogy a résztvevők lehetőséget biztosítsanak tudásuk további bővítésére meghívott szakértői előadók, interaktív beszélgetések és személyes eszmecsere révén. A programban helyet kap egy kiállítási terület, bőséges kávészünet és egy esti társasági esemény is, hogy minél több időt töltsön a kapcsolatteremtéssel!

Ezen túlmenően tovább vizsgáljuk a kommunikáció szükségességét és szerepét, valamint azt, hogy miként lehet a legjobb példákkal új szakembereket toborozni és jövőbeli vezetőket vonzani az iparágba.

Tekintse meg azokat a kiváló szponzorálási lehetőségeket is, amelyek a vállalatok rendelkezésére állnak, hogy termékeiket és szolgáltatásaikat közvetlenül és hatékonyan népszerűsítsék a résztvevők számára.

Jegyezze fel a dátumot, és figyeljen az Esemény további frissítéseire a következő hetekben!



Dr. Carsten Karcher
Secretary General for EAPA



Siobhan McKelvey
Director General Eurobitume



A Magyar aszfaltipari Egyesülés (HAPA) hivatalos szakmai lapja.

Szerkesztőség:

Magyar Aszfaltipari Egyesülés
H-1119, Budapest Etele u. 59-61.
Telefon: +36 1 7821-893
Fax: +36 1 7822-008
E-level: info@hapa.hu
Internet: http://www.hapa.hu

Alapító főszerkesztő:

Dr. Bodnár Géza

Főszerkesztő: Veress Tibor

Nyomdai előkészítés és nyomás:

SILBER-Nyomda Kft. www.silbernyomda.hu

Hirdetésfelvétel:

Magyarországon a szerkesztőségben

Terjesztés:

a szerkesztőségben keresztül ingyenesen

ISSN 1217-7830

TARTALOMJEGYZÉK

Dr. Breixo Gómez Meijide –

Hogyan segít az EAPA az Asphalt 4.0 megvalósításában? 5

Dr. Gajári György, Dr. Kisgyörgy Lajos, Dr. Mahler András –

A hengerelt aszfalt viszkohioplasztikus anyagállandóinak kísérleti meghatározása 9

Szöke Gábor –

A Főváros burkolatgazdálkodási folyamatainak fenntartása, jelenlegi állapota és jövőképe a Budapest Közút szemszögéből 21

Dipl.-Ing. Gudrun Golkowski –

Temperált útszakaszok a duraBAST-nál 27

Xavier Carbonneau –

Hideg és alacsony zajszintű aszfalt 32

Dr. Krishna Srinivasan, Ph.D. – Dr. Deepak Madan, Ph.D. –

Az ideális RAP rejuvenátor fő jellemzői 35

Dr. Thorsten Butz –

A Warm Mix koncepciók optimalizálása kombinált termékekkel 49

Kedves Kollégák,

ahogy az előző lapunkban beharangoztuk, örömmel tájékoztatom Önöket, hogy az életünk lassan visszatér a megszokott kerékvágásba.

A februári konferenciánk sok újdonsággal szolgált, melyek hozzájárultak annak sikeréhez. Egyrészt a COVID miatt néhány külföldi előadó nem tudott személyesen eljönni, ezért számukra biztosítani kellett az internetes előadás lehetőségét. Ugyanakkor interaktívnak kellett lennünk, hogy a kérdésekre ők is válaszolni tudjanak. Nos, a technikai személyzet szakszerű munkájának is köszönhetően, ez maradéktalanul sikerült.

A konferenciánkon kevesebb előadást terveztünk, hogy egy-egy témakört legyen idő megvitatni. Szerintem, és nagyon sok pozitív visszajelzés alapján kijelenthető, hogy az újítások beváltották a reményeket, és a konferencia helyszíni résztvevői, valamint az internetes hallgatók is elégedettek lehettek.

Ez a siker lelkesít bennünket, és ösztönöz arra, hogy tovább folytassuk a következő konferenciáinkon ezt a módszert.

Itt van rögtön a Fiatal Mérnökök Fóruma, amelynek invitációját a lapunk 4. oldalán olvashatják. Ez a fórum lassan nemzetközi siker lesz, mert az EAPA felkarolta a fiatal előadók témáját, és ma már több országban is megrendeznek hasonló, fiatalok előadásával találkozókat. Az egyes országok győztesei pedig – köztük a magyar nyertesek – 2023-ban Madridban bemutathatják a tudásukat az EAPA megalakulásának 50. évfordulójára tervezett ünnepségen.

Köszöntjük az új tagunkat a SRIPATH Technologies LTD.-t

Minden tagunknak sikeres évet kívánva

Veress Tibor Igazgató

Tisztelt Cégvezető Kollégák,
HAPA tagok,
Fiatal Mérnökök!

Tizenötödik alkalommal invitáljuk, pályakezdő kollégáinkat a HAPA

Fiatal Mérnökök Fórumára

**2022 november 8.-án kedden,
a Hotel Holiday Inn (2040 Budaörs Rubik Ernő u. 2),
konferencia termébe.**

Eredeti célkitűzésünk nem változott! Prezentációs lehetőséget kívánunk biztosítani a frissen, vagy néhány éve végzett, 35 évnél fiatalabb mérnökök, szakemberek számára.

Az előadók között, a közönség szavazata alapján három díjat adunk ki, amelyek jellemzően szakmai tanulmányutat, vagy külföldi és hazai szakmai rendezvényen való térítés mentes részvételt jelentenek.

Kérem a tagvállatainkat, hogy ösztönözzék a fiatal szakembereiket előadás tartására, mert -sajnos - a frissen végzett mérnökök döntő többsége vasutas diplomatervet készített.

**Jelentkezés, érdeklődés esetén kérem hívja
a +36309362743 telefonszámot, vagy írjon
az info@hapa.hu e-mail címre.**

Üdvözlettel Veress Tibor
igazgató
Magyar Aszfaltipari Egyesülés



Hogyan segít az EAPA az Asphalt 4.0 megvalósításában?

**Dr. Breixo Gómez
Meijide**

Technical Director
European Asphalt Pavement
Association (EAPA)



1. Az új uniós politika és az építési paradigma szükségessége változása

Az Európai Bizottság új adminisztrációjának (Ursula von der Leyen vezette) 2019-es megérkezésével a történelem legambiciózusabb környezetvédelmi céljait az úgynevezett európai zöld megállapodás [1] rögzítette. E célkitűzések között szerepelt a nettó üvegházhatású gázok kibocsátásának legalább 55%-os csökkentése 2030-ig (az 1990-es szinthez képest), és Európa az első klímasegélyes kontinenssé válása 2050-re. Ebben a dokumentumban az is rögzítésre került, hogy az EU-nak elő kell segítenie és be kell fektetnie a szükséges digitális átalakításokba és eszközökbe, hiszen ezek a változás alapvető előmozdítói.

A Bizottság 2020 márciusában új ipari stratégiát [2] fogadott el azzal a céllal, hogy az európai ipar korábbi célkitűzéseit fejlessze, miközben erősíti annak versenyképességét és szuverenitását. Ez rámutat arra, hogy elő kell segíteni a világhátrányból való inkluzív kilábalást, és tovább kell gyorsítani a zöld és digitális átállást az EU zöld megállapodásával és a digitális évtizeddel összhangban, valamint növelni kell az uniós ipari ökoszisztémák ellenálló képességét.

Ezeket az elképzeléseket a következő jogalkotási kezdeményezések sorozata során fejlesztették tovább, mint például az új körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terv (2020. március) [3], a 2030-as digitális iránytű (2021. március) [4], az európai klímátörvény (2021. június). 5] vagy a „Fit for 55” jogalkotási csomag (2021. július) [6].

Fontos kiemelni, hogy mindezekben a dokumentumokban a fenntarthatóság és a digitalizáció nem különálló és független fogalomként jelenik meg. Éppen ellenkezőleg, és ahogy a 2030-as Digital Compass is kijelenti, „a digitális megoldások átvétele és az adatok felhasználása elősegíti a klímasegélyes, körforgásos és rugalmasabb gazdaságra való átállást”.

Ennek érdekében a jövőre vonatkozó dokumentumban meghatározott stratégia alapvetően 4 alapelvre épül, az első kettő az infrastruktúrák digitális kapacitásaira, valamint az oktatás és készségek, a másik kettő pedig az üzleti élet és a közszolgáltatások digitális átalakítására irányul.

A 2030-as digitális iránytű egyebek mellett az építőipari szektort is „az elmúlt 20 év legalacsonyabb termelékenységi fejlődéseként” azonosítja az összes főbb ágazat közül, és kijelenti, hogy az építőipari vezetők 70%-a szerint az új gyártási technológiák és a digitalizáció lesz az ágazatban a változás mozgatórugója.

Ezenkívül a 2021 decemberében közzétett szolgálati munkadokumentumban [7] a Bizottság leírja a rugalmasabb, zöldebb és digitálisabb építési ökoszisztéma átmenetének forgatókönyveit. Ebben a dokumentumban megemlíti, hogy a technológiai fejlődés, a demográfiai és klímaváltozás, valamint a globalizáció tükrében a munka világa átalakulóban van. A munkaerőt és a népesség előrejelzését felváltó automatizálási trend egyrészt, másrészt pedig a munkavállalók migrációja és mobilitása, valamint a fenntartható gazdasági növekedés irányába való átmenet átformálja a munka jövőjét, és megváltoztatja a készségek iránti igényt minden ipari ökoszisztémában. Az építkezés, mivel önmagában is különösen munkaigényes, természetesen nem marad érintetlenül.

Az építőipari ökoszisztéma tehetségállománya egyre szűkül, mivel az idősödő munkavállalók nyugdíjba vonulnak, a fiatalok pedig vonakodnak attól, hogy az építkezést pályaválasztásukként tekintsek. A helyzetet tovább bonyolítja a jelenlegi munkaerő készségeinek és képességeinek adaptációjával és fejlesztésével kapcsolatos kihívások. Az ipari érdekeltek gyakran hangsúlyozzák, hogy be kell fektetni az egész életen át tartó tanulásba és a digitális munkavégzési gyakorlatokba, a jobb munkakörülményekbe és a szociális védelembe, az egészségesebb és biztonságosabb munkakör-

nyezetbe, valamint a karrierlehetőségek jobb előmozdításába; mindez növelné az ágazatok vonzerejét a képzett munkavállalók és a tehetségek számára.

A jelenlegi készséghiány kezelése (különösen a digitalizáció terén) és az építőiparban a jövőbeli készségigények előrejelzése több, jobb és biztonságosabb munkahely biztosítását jelenti.

2. Az új mobilitás

Továbbra is nő a közúti balesetekben elhunyt emberek száma világszerte. Az Egészségügyi Világszervezet „Global Status Report on Road Safety” [8] szerint csak 2016-ban elérte az 1,35 milliót. Ez azt jelenti, hogy világszerte többen halnak meg közúti közlekedési sérülések következtében, mint HIV/AIDS, tuberkulózis vagy hasmenéses betegségek következtében. A közúti balesetek ma a leggyakoribb halállokok az 5 és 29 év közötti gyermekek és fiatalok körében világszerte. A globális helyzethez képest Európa viszonylag jól áll, köszönhetően az uniós, nemzeti, regionális és helyi szintű határozott fellépésnek. 2001 és 2010 között 43%-kal, 2010 és 2019 között további 23%-kal csökkent a közúti halálesetek száma az EU-ban.

2019-ben azonban még mindig 22 800 ember veszítette életét az EU útjain [9]. Amint azt az EU 2021–2030 közötti időszakra szóló közúti közlekedésbiztonsági szakpolitikai kerete [10] kifejti, ez elfogadhatatlan és sürgős emberi és társadalmi ár a mobilitásért. A helyzetre válaszul az EU új megközelítéseket fogadott el, mint például a Vision Zero és a Safe System.

Kutatások kimutatták, hogy az emberi hiba okozza a balesetek több mint 90%-át [11]. Mivel az autonóm járművek sürgősszerűen teszik a vezetőt, jelentősen javíthatják a közúti biztonságot. Egyebek mellett az automatizált járművek képesek jobban betartani a közlekedési szabályokat, mint az emberek, és gyorsabban reagálnak. Ezen túlmenően ezek a járművek ösztönözhetik az autómegosztást is, hozzájárulva a torlódások csökkentéséhez, kevésbé vonzóvá téve az autótulajdonlást a városokban, valamint új és továbbfejlesztett üzleti modelleket (azaz a mobilitást mint szolgáltatást) támogatva [12].

Az EU már elfogadott stratégiákat az együttműködő intelligens közlekedési rendszerekről [13], valamint az 5G kommunikációs technológiáról [14] és az adatvédelmi szabályokról. A világ más részeivel ellentétben a szükséges jogi keretek nagy része már megvan az EU-ban, amely mércéül szolgál az ENSZ Európai Gazdasági Bizottságának nemzetközi partnereivel való nemzetközi harmonizációhoz.

Emellett a CO₂-kibocsátás csökkentése az EU másik prioritása, és mindannyiunkat érintő globális kihívás. Ebben az értelemben az Európai Gépjárműgyártók Szövetsége (ACEA) [15] szerint az önvezető járművek nemcsak a költségek megtakarításában és az utak biztonságosabbá tételében, hanem a károsanyag-kibocsátás csökkentésében is segítenek. A közlekedési ágazatot szilárdan be kell ágyazni az egész gazdaságra kiterjedő szén-dioxid-kibocsátás-csökkentési keretbe, miközben azon is kell dolgozni, hogy a technológiát, az energiát, a kormányt és a fogyasztókat összekapcsoló integrált megközelítés révén maximalizálja a CO₂-csökkentést.

Ebben a tekintetben az elektromos járművek is döntő szerepet fognak játszani. Az ACEA szerint az e-mobilitáshoz számos szereplőtől egyidejűleg jelentős befektetésekre lesz szükség, hogy biztosítsák a piaci elfogadás előtt álló akadályok leküzdését és az elektromobilitásban rejlő lehetőségek kiaknázását.

Ezért nem csak a járműtechnológiát tekintve olyan integrált megközelítésre van szükség, amely a CO₂-kibocsátás csökkentésének minden módjával foglalkozik az összes érintett fél bevonásával.

Ezen okokból kifolyólag a jövő útjait hozzá kell igazítani ezekhez a mobilitási változásokhoz, lehetővé téve, hogy (többek között) kommunikáljanak a kapcsolódó járművekkel a veszélyes helyekről (pl. sorompók), forgalmi fennakadásokról, közlekedési táblákról (sebességkorlátozás, stb.), közlekedési lámpák stb.), a rendelkezésre álló sávokról, útviszonyokról (pl. jég, eső stb.) vagy olyan helyekről, ahol sok a baleset. Infrastruktúrát is kínálhatnak a járművek közötti kommunikációhoz, sőt vezetési támogatást is nyújthatnak. Másrészt az elektromos utak képesek lehetnek energiát begyűjteni (nap-, hő-, mechanikai stb.), elektromos járműveket árammal ellátni, közúti berendezéseket ellátni elektromos árammal (jelzők, közlekedési lámpák, kommunikációs rendszerek stb.), hőt szolgáltatni a közeli épületek számára, és csökkenti a jégképződést az előbb említett rendszerek fordított működtetésével.

3. Aszfalt 4.0

Az aszfalt ipar válasza a korábbi változásokra/kihívásokra az úgynevezett „Asphalt 4.0”, amely koncepció szorosan kapcsolódik az „Ipar 4.0” tágabb koncepciójához. Ez egy sor intelligens és autonóm rendszerre utal, amelyeket big data, gépi tanulás, mesterséges intelligencia, blokklánc, interneten futó dolgok, programok (IoT) stb. táplálnak, és amelyek képesek jelentős mértékben előmozdítani a hatékonyságot, a termelékenységet, a minőséget, a megbízhatóságot és a fenntarthatóságot az adott ipari szektorban.

Ezeknek a technológiáknak az aszfaltburkoló szektorban való alkalmazása Asphalt 4.0 néven ismert, és digitális eszközök használatával automatizálja, nyomon követi és javítja azt a módot, ahogyan a szervezetek olyan hagyományos tevékenységeket fejlesztenek ki, mint az aszfaltgyárak kezelése, bitumenes keverékek gyártása, kiszállítás/beszállítás vagy telepítés (pl. burkolat építés, tömörítés stb.).

A megfelelő Asphalt 4.0 átalakítási folyamat a szervezet nagyobb hatékonyságát, a kínált termékek és szolgáltatások jobb garanciáit és tartósságát, idő- és erőforrás megtakarítást, tartós innovációs folyamatot, valamint a vevői elégedettség (vevői élmény) kezelésének egy teljesen más módját eredményezheti.

Ezenkívül megkönnyítheti és felgyorsíthatja a mobilitási ágazat átállását az új felhasználók felé, például az elektromos és automatizált járművek felé.

E célok elérése érdekében az Asphalt 4.0 három pilléren nyugszik:

1. Digitális technológiák és eszközök a biztonságos, hatékony és eredményes adatkezeléshez, amely magában foglalja az azok előállítását, tárolását és továbbítását.

2. Intelligens irányítási rendszerek, amelyek képesek az összes megszerzett adat feldolgozására és a minták azonosítására, amelyek optimális döntéshozatalhoz vezetnek és olyan időn belül, amely az ember számára nem lenne ésszerűen megvalósítható.

3. Ügyféltapasztalat: Az utakat az építés után nem csak egyszerűen átadják a forgalomnak, hanem a beérkező azonnali információk és az ebből eredő optimális stratégia alapján felügyelik, kezelik és karbantartják.

Az Asphalt 4.0 koncepció kialakítása a szervezet minden területét érinti, ezért azt a legmagasabb szinten kell irányítani.

4. EAPA támogatása az Asphalt 4.0 kezdeményezésekhez

Korábban a digitális technológiákat és fejlesztéseket általában az EAPA Technikai Bizottság napirendjén vitatták meg. Mivel azonban ez a tartalom az elmúlt években jelentősen megnövekedett, az EAPA 2020 januárjában elindított egy vado-natú, speciális Aszfalt 4.0-s bizottságot.



Az EAPA bizottságok áttekintése

Ennek a bizottságnak az a fő célja, hogy azonosítsa a világszerte fejlesztés alatt álló releváns technológiákat, kezdeményezéseket, projekteket stb., és megosszák ezt a tudást az EAPA-tagok között.

Ennek keretében gyakran meghívják külső előadókat a találkozókra, hogy megosszák egymással tudásukat és tapasztalataikat az új digitális technológiákkal kapcsolatban. Ilyen például Francisco Veja (BECSA), aki egy új digitális rendszert mutatott be a burkolat állapotának figyelésére és az útkarbantartási terveken belüli döntéshozatal támogatására; valamint Riccardo Viaggi (CECE), aki bemutatta az építőipari gépek digitalizálásával foglalkozó DigiPLACE Horizon 2020 projektet.

Az EAPA arra is törekszik, hogy a kapcsolódó érdekelt felek, a közigazgatás és az általános társadalom körében felhívja a figyelmet az Asphalt 4.0 technológiák előnyeire, kihívásaira, a megvalósítás akadályaira, az EAPA álláspontjára, ütemtervére stb.

Az egyik első lépés ebben a tekintetben az EAPA weboldalának (www.eapa.org) teljes körű felújítása volt, amely sok egyéb mellett az „Asphalt 4.0” [16] és az „Innováció” [17] új részeket is beépítette. Ezekben megadták az Asphalt 4.0 koncepció formális definícióját, valamint a burkolatépítés és -karbantartás minden szakaszában elérhető digitális technológiák hosszú listáját, az aszfaltgyártól a szállító teherautókon, a beépítő gépeken és tömörítő eszközökön át a „smart” menedzsment rendszerekig, amelyek optimalizálni tudják az útburkolatok építését és karbantartását.



Innováció rovat az EAPA honlapján

További fő tevékenység az EAPA weboldaláról ingyenesen letölthető dokumentumok közzététele. A következő kettő közvetlenül kapcsolódik az Asphalt 4.0 koncepciójához:

1. Az „Európai autópályák összekapcsolt, automatizált és elektromos járművek átvételére való felkészültségének osztályozása” című dokumentum az utak (vagy ezek szakaszai) osztályozását javasolja, amely egyszerű módon tájékoztatást nyújthat a járművezetőnek és/vagy járműnek. az automatizált és villamosított vezetést támogató elérhető technológiákról. Egyúttal meg vannak adva azok a kulcsparaméterek, amelyek egy adott osztályú út/szakasz digitalizációs szintjének megadásához szükségesek. Ezért a közúti hatóságok a javasolt besorolásra hivatkozhatnak, hogy meghatározzák a szükséges intézkedéseket annak érdekében, hogy lehetővé tegyék a járművek kívánt automatizálási és villamosítási szintje melletti mozgását.

2. A két dokumentum (egy műszaki áttekintés és egy műszaki tájékoztató) a „Nagy teljesítményű burkolatok – a jövőbeli úthálózatokhoz való alkalmazkodás” címmel elemzi az új mobilitás (automatizált, elektromos és nagy teherbírású járművek) néhány lehetséges kockázatát, amelyek csökkenthetik az utak tartósságát és azt, hogy az aszfaltipar hogyan készül erre a kihívásra.



Az Asphalt 4.0-hoz kapcsolódó EAPA dokumentumok elérhetők az EAPA honlapján

Az Asphalt 4.0 koncepciójával kapcsolatos további információk elérhetővé váltak videók formájában, amelyek megtekinthetők az EAPA YouTube csatornáján [18]. Ebben az EAPA rendszeresen közzétesz tájékoztató videókat (pl. a legutóbbi E&E Kongresszuson), Tech Talks-okat és interjúkat, videó eligazításokat aktuális témákról, valamint videobemutatókat a kongresszusokról és webináriumokról. Ezeknek a videóknak a része a „Generation Asphalt” című sorozat, amelyben az aszfaltipar érdekes témáit magyarázzák el a nagyközönségnek egyszerű nyelven. Példák ezekre a „Mi az Asphalt 4.0” című videó? és „Felkészültek az utak az új mobilitásra?” [19].



Az Asphalt 4.0-s EAPA-videók elérhetők az EAPA YouTube-csatornáján



E&E Event 2022

Következtetések

Az Asphalt 4.0 az aszfalt gyártó és burkolatépítő ipar válsága azokra az erőteljes változásokra, amelyeket az európai politika, a mobilitás és a társadalom napjainkban tapasztal. Az ebben a koncepcióban szereplő digitális technológiák képesek jelentősen előmozdítani az ágazat hatékonyságát, termelékenységét, minőségét, megbízhatóságát és fenntarthatóságát. A változás annyira fontos, hogy az EAPA 2020-ban külön bizottságot indított ebben a témában. Azóta számos tevékenység és kezdeményezés történt vagy folyik annak érdekében, hogy segítse az érdekelt feleket a digitális technológiáknak a burkolatépítő ágazatban való asszimilálásában és bevezetésében.

Szakirodalom:

- [1] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- [2] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en
- [3] https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en
- [4] <https://futurium.ec.europa.eu/en/digital-compass>
- [5] https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en

Az EAPA közlemény napjainkra a közösségi médián, egy olyan kommunikációs eszközön keresztül is befejezte a teljes digitalizálását, amely hatékonynak és eredményesnek bizonyult a közúti ágazatban érintett valamennyi érdekelt fél elérésében, az ipartól és a közúti igazgatástól a nagyközönségig, az úthasználókig és különösen a fiatal generációk számára.

Végül 4 évente az EAPA az Eurobitume-mel közösen megszervezi az E&E Kongresszust. A legutóbbi, 2021-ben digitálisan megrendezett kiadás 800 bitumen- és aszfaltszakembert gyűjtött össze a világ 48 különböző országából. Idén első alkalommal a Kongresszus fő témája az „Aszfalt 4.0 a jövő mobilitásáért” volt, és a témában konkrét ülések is helyet kaptak, mint például a „Jövő útjai és mobilitása”.

2022. november 14-15-én az EAPA és az Eurobitume is megrendezi az úgynevezett E&E Eventet. A végleges program még nem jelent meg, de az Asphalt 4.0 témája biztosan benne lesz.

- [6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>
- [7] https://ec.europa.eu/growth/consultations/scenarios-transition-pathway-resilient-greener-and-more-digital-construction-ecosystem_en
- [8] World Health Organisation (2018), “Global Status Report on Road Safety”: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
- [9] https://ec.europa.eu/transport/road_safety/system/files/2021-07/asr2020.pdf
- [10] [file:///C:/Users/User/Desktop/EU%20documents/EU%20road%20safety%20policy%20framework%202021-2030.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/system/files/2021-07/asr2020.pdf)
- [11] Commission's report on Saving Lives: Boosting Car Safety in the EU, COM(2016) 787.
- [12] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=cellar%3A0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF
- [13] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/AUTO/?uri=CELEX:52016DC0766>
- [14] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:3A52016DC0588>
- [15] <https://www.acea.be/press-releases/article/driverless-trucks-new-report-maps-out-global-action-on-driver-jobs-and-lega>
- [16] <https://eapa.org/innovation-2/>
- [17] <https://eapa.org/asphalt-40/>
- [18] <https://www.youtube.com/channel/UCzPUFc2PJoLc0zBr6BXQ1bA>
- [19] <https://www.youtube.com/watch?v=pxzNTGP8hsc>

A hengerelt aszfalt viszkohipoplasztikus anyagállandóinak kísérleti meghatározása

Dr. Gajári György, Dr. Kisgyörgy Lajos, Dr. Mahler András

Dr. Gajári György



nyugdíjas, HTPA

1 Bevezetés

Az „ASZFALT” folyóirat 2019/1. számában jelent meg „A hengerelt aszfalt ... viszko-hypoplasztikus anyagmodellje” című cikkem [5]. Elméleti megfontolásokkal arra a következtetésre jutottam, hogy az aszfalt egy viszkózus kőváz, mely a NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus modellel írható le, mert az összhangban áll a tapasztalattal és az ismert laboratóriumi mérési eredményekkel [5][6]. Az elvi megfontolásokat a következő két mondat zárja. „Belátható, hogy kvalitatívan a viszko-hypoplasztikus modell megfelel a megfigyeléseknek. A megfelelés kvantitatív bizonyítása csak a modellparaméterek mérés útján történő meghatározása és a numerikus szimuláció elvégzése után lesz majd megvalósítható.” A jelen cikk célja, az elmúlt három évben megtörtént kísérletek eredményeinek és a meghatározott anyagállandóknak a bemutatása. A munka finanszírozására az NKFI támogatásával, a „2018-1.3.1-VKE-2018-00008 Viszko-hipoplasztikus aszfalt anyagmodell kifejlesztése és alkalmazása az útpálya tervezésben” című kutatás keretében került sor [4]. Az itt bemutatott eredményeknek megfelelően a cikk végén megnevezek néhány szempontot, melyek szerint a jelenlegi gyakorlat felülvizsgálata célszerű és haszonnal kecsegtet.

2 A kísérleti eredmények bemutatása és az anyagállandók meghatározása

Az anyagmodell bármilyen tetszőleges terhelés (például tiszta nyíró is) leírására alkalmas, de a viszkohipoplasztikus anyagmodell korábbi bemutatása az egydimenziós formá-

ban történt, amely az ödométeres tömörítés. Ezt a kísérletet a talajmechanikából ismerjük. Matematikai leírásához a belső súrlódási szög kivételével az összes többi anyagállandóra szükség van. Az egyszerűség kedvéért az eredmények bemutatása itt is az egydimenziós változat alapján történik, a háromdimenziós általánosítás vázlatos bemutatására csak a 4. pontban kerül sor.

2.1

Az anyagállandók és a szükséges kísérletek

Az ödométer az egyik végén zárt, merevfallú cső, a másik végén egy dugattyúval tengelyirányban tömörítjük a csőbe helyezett szemcsés anyagot, jelen esetben az aszfaltot. Tengelyirányban mérjük a dugattyú mozgását és a dugattyú által kifejtett nyomást. A tömörítési folyamatot leíró három egyenlet [2]:

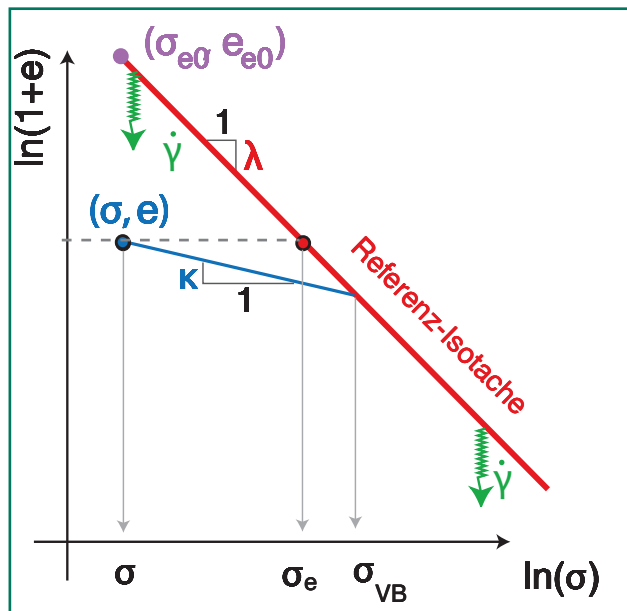
$$\dot{\sigma} = \frac{\sigma}{\kappa} (\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}^{vis}) \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}^{vis} = \dot{\gamma} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^n = \dot{\gamma} \left(\frac{1}{OCR} \right)^n, \quad (2)$$

$$\dot{\sigma}_e = \frac{\sigma_e}{\lambda} \dot{\epsilon}. \quad (3)$$

Ezeket az egyenleteket összevetve a korábbi cikkben szereplő egyenletekkel, megállapítható, hogy most hiányzik az „ $(1 + e_0)^n$ ” szorzó. Ezt a deformáció definíciójának különbsége okozza. Jelen esetben a logaritmikus deformációt használjuk.

Az aktuális viszonyokhoz tekintünk az 1. számú ábrát.



1. ábra [3]

A deformációsebesség definíciója:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{e}}{e+1} = \frac{dV}{V}, \text{ ahol } V \text{ a térfogat.}$$

Integrálva kapjuk:

$$\Delta \epsilon = \ln V_a - \ln V_b = \ln(1 + e_a) - \ln(1 + e_b) = \Delta \ln(1 + e).$$

A (3) egyenletet integrálva kapjuk az $\dot{\epsilon} = \dot{\gamma} = \text{const}$ állandó, referenciasebességű „első összenyomás” egyenesét, melynek λ meredeksége anyagállandó, neve „kompressziós index”:

$$-\lambda(\ln \sigma_e - \ln \sigma_{e0}) = \ln(1 + e) - \ln(1 + e_{e0}). \quad (4)$$

Az 1 ábrának megfelelően, analóg módon definiálható a „duzzadási index” κ , amely a rugalmas le- és visszaterhelési egyenes meredeksége, szintén anyagállandó. Az állandó $\dot{\epsilon} = \dot{\gamma} = \text{const}$ viszkoplasztikus deformációsebességű összenyomás egyenesének helyzetét a kezdeti hézagtényező és nyomás értékpár (e_{e0}, σ_{e0}) határozza meg. Az $(e_{e0}, \sigma_{e0}, \dot{\gamma})$ számhármass együttese meghatározza az egyenest, ezért e számhármass szintén anyagállandó egy adott hőmérsékleten. A (2) egyenletben szereplő „ n ” a NORTON folyási szabály kitevője anyagállandó egy adott hőmérsékleten. Reciproka a viszkozitási index: $I_v = 1/n$.

Az (1) egyenlet egy MAXWELL test differenciálegyenlete, mert a sorba kötött rugalmas és viszkoplasztikus elemek deformációiváltozásai ($\dot{\epsilon} - \dot{\epsilon}^{vis} = \dot{\epsilon}^{rug}$; $\dot{\epsilon}^{vis}$) összeadódnak, míg a két elembe uralkodó nyomásváltozások $\dot{\sigma}$ egyenlőek. σ_e a HVORSLEV féle ekvivalens nyomást jelöli az „első összenyomás” egyenesén.

Az egydimenziós viszkohipoplasztikus modell leírásához a következő 6 anyagállandó szükséges, összefoglalva ezek az alábbiak:

- λ : kompressziós index
- κ : duzzadási index
- I_v : viszkozitási index és a
- $e_{e0}, \sigma_{e0}, \dot{\gamma} = D_r$: referenciaparaméterek.

A háromdimenziós modellhez még egy további paraméter szükséges, mely a:

- φ_c : kritikus belső súrlódási szög.

E paraméterek meghatározásához az alábbi 3 fajta triaxiális kompressziós vizsgálatra volt szükség:

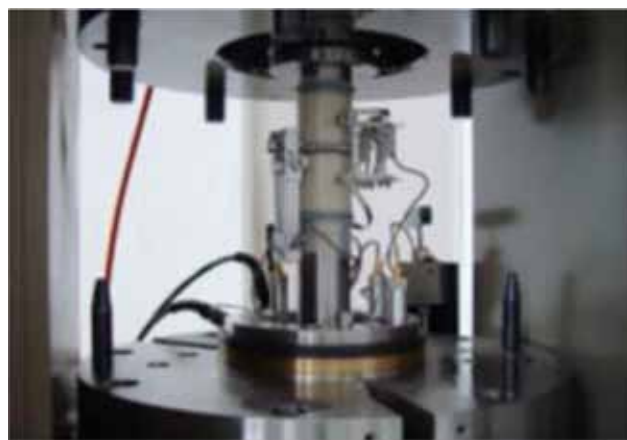
- izotróp tömörítés: λ, κ
- ödométeres tömörítés: $I_v, e_{e0}, \sigma_{e0}, \dot{\gamma} = D_r$
- állandó oldalnyomás melletti törés: φ_c .

2.2

A freibergi triaxiális berendezés



2. ábra



3. ábra

Alkalmass triaxiális berendezést csak Németországban, a Freibergi Műszaki Egyetem, Geotechnikai Intézetének közetmechanikai laboratóriumában találtunk [4]. A berendezés megfelel az alábbi szempontoknak:

- Az ödométeres kompresszió megvalósíthatósága megkövetelte a hengeres minta átmérője változásának mérését és a cellanyomás automatikus vezérlését a célból, hogy a cellanyomás növelésével meggátolható legyen az átmérő-változás.
- A hőmérsékleti függőség tisztázása szükségessé tette a triaxiális cella temperálhatóságát.
- Az alacsony hőmérsékleten végzendő kísérletek tervezésekor számítani kellett olyan magas nyomó terhelésekre, melyek aszfalt- vagy talajmechanikai laboratóriumokban nem állnak rendelkezésre.

A freibergi berendezés az Amerikai Egyesült Államok beli „MTS” márkájú. A világjárvány miatt személyesen nem vehettünk részt a kísérletek megvalósításában, így azok teljes mértékben bér munkában készültek el. Minden utasítás és kommunikáció írásos formában történt [4].

2.3

Az AC 11 aszfaltmintatestek előkészítési munkái

A TPA (STRABAG) laboratóriumában szegmenstömörítő segítségével 3db aszfaltlapot állítottunk elő, melyekből a freibergi laboratóriumban fűrták ki a 100 mm magasságú és 50 mm átmérőjű hengeres mintákat. A lapok előállításához



4. ábra

sához AC 11 típusú aszfaltot használtunk. A kötőanyag B 50/70 normál útépítési bitumen volt, annak tartalmát 4,5 súlyszázalékban korlátoztuk, mert meg kellett gátolni a túlzott bitumentelítettséget. Az ugyanis korlátozta volna tömöríthetőséget, mert a bitumen nem tömöríthető, mint ahogy a kőváz szemcséi sem. Az aszfaltlapokat háromféle tömörségben terveztük. A kifűrt hengeres mintákon egyenként meg kellett határozni a befogadó hézagot, mert tudtuk, hogy az aszfalt viselkedését döntően meghatározza a kőváz tömörsége. A mintatestek átlagos sűrűsége az alábbi volt [4]:

Blokk 1: befogadó hézag:

$$\text{VMA} = 17,3 \%, \text{ hézagtényező: } e = \text{VMA}/(1 - \text{VMA}) = 0,209$$

Blokk 2:

$$\text{VMA} = 20,4 \%, \text{ hézagtényező: } e = 0,256$$

Blokk 3:

$$\text{VMA} = 14,0 \%, \text{ hézagtényező: } e = 0,163$$

A bitumen a 2 jelű blokk befogadó hézagnak körülbelül csak felét, vagyis a mintatest térfogatának 10 %-át foglalta el.

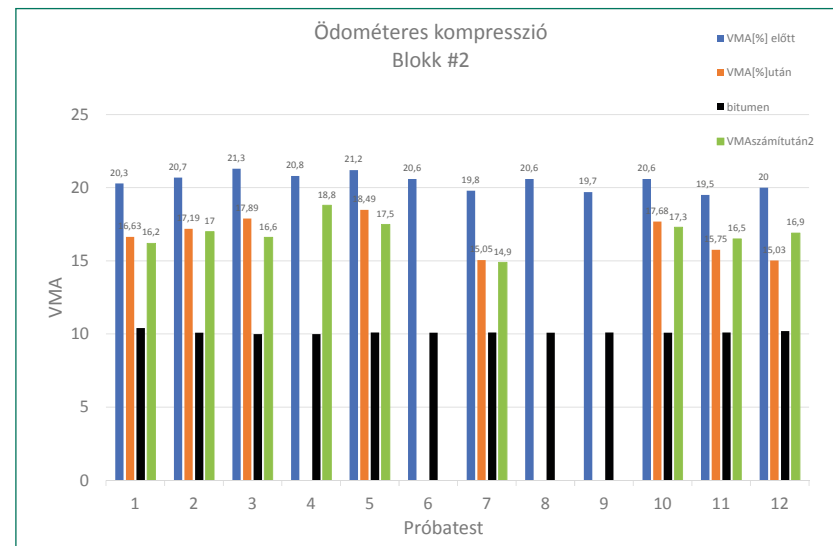
Az ödométeres és az izotróp kompresszióhoz a mintatestek a 2 számú blokkból származtak, a triaxiális töréshez pedig az 1 számú blokkból. A 3 számúból származó mintákat a lehűlés okozta saját feszültségek meghatározására használtuk, egytengelyű törési kísérleteknél, melyről az 5. fejezetben számolunk be.

A triaxiális cellába behelyezett minta a 4. ábrán látható, a terhelőkeretből kiépített cella pedig az 5. ábrán.

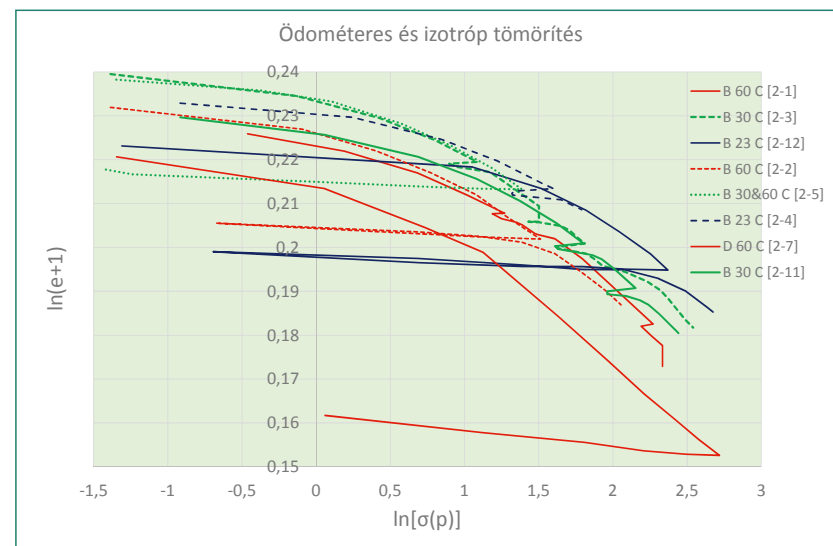


5. ábra

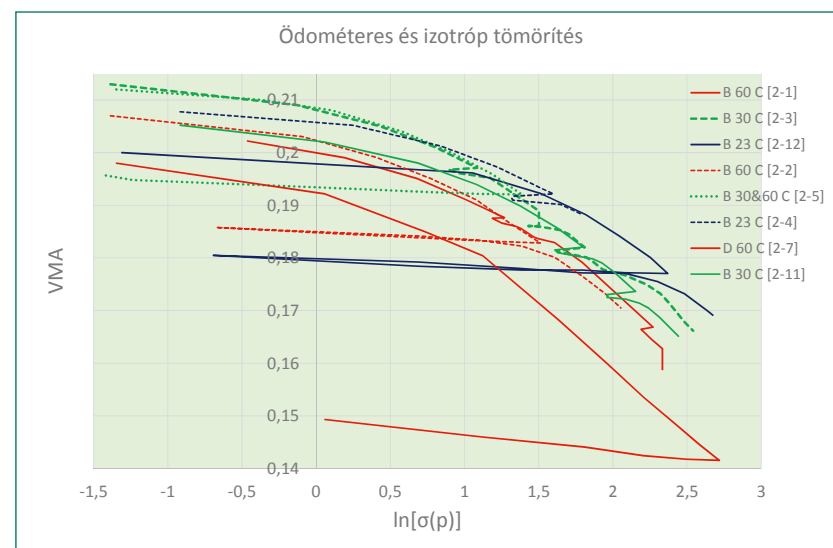
2.4 A kísérleti eredmények alapján meghatározott anyagállandók



6. ábra



7. ábra [4]



8. ábra [4]

Az elasztoplastikus paraméterek: λ , κ és φ_c a hőmérséklettől függetlenek, ezeket 60 °C hőmérsékletű cellában határoztuk meg, míg a viszkozus állandók: I_v , e_{e0} , σ_{e0} , D_r függenek a hőmérséklettől, azok 23 °C; 30 °C és 60 °C hőmérsékletű cellában kerültek meghatározásra. Az izotróp és ödométeres kompresszió mintáinak tömörségére (VMA) vonatkozó adatokat a 6. ábra tartalmazza, a tömörítés előtt és után [4].

Az ábrához a következő magyarázat fűzendő:

A kék oszlopok a tömörítés előtti befogadó hézagot reprezentálják, a feketék azt, hogy a bitumen abból hány százalékat foglal el. A sárga oszlopok a tömörítés utáni hézagértékeket mutatják, mérés alapján, míg a mért deformációk alapján számított befogadó hézagnak a zöld oszlopok magassága felel meg.

A 7. ábra az 1. ábrának megfelelő ábrázolásban mutatja az összes tömörítési kísérlet eredményét, melyek tehát a φ_c kritikus sűrűdési szögön kívül a maradék 6 paraméter meghatározásául szolgált [4].

A 8. ábra abban különbözik az előzőtől, hogy az y-tengelyen a VMA értékek vannak [4].

A 7. és 8. ábrák jelmagyarázatához a következő további megjegyzés fűzendő:

a „B” jel ödométeres tömörítést, míg a „D” izotróp tömörítést (egy eset) jelent.

A következő szám (60; 30; 23) a hőmérsékletet jelenti, °C-ban mérve. A zárójelben lévő „2” szám a 2-es aszfaltblokkra utal, míg a kötőjel utáni utolsó szám a mintatest jele. A kísérleti hőmérsékletre a diagram vonalszínei is utalnak: piros a 60; zöld a 30 és sötétkék a 23 °C. A vonalakon látható ugrások a viszkozus viselkedés eredményei.

Akompresszió deformációsebességének ugrásszerű változtatása tükröződik vissza.

Az uralkodó sebesség 10⁻⁵/sec (10⁻³mm/sec dugattyúsebesség) volt, ettől 10-szer kisebb, ill. 10-szer nagyobb irányban volt eltérés a látható feszültségugrásoknál. Az x-tengelyen a nyomás természetes logaritmus látható.

Tájékoztatásul a logaritmus értékekhez a következő nyomásértékek tartoznak:

„0” megfelel 1 MPa-nak,
 „1” megfelel kb. 2,72 MPa-nak,
 „2,7” megfelel 15 MPa nyomásnak.

A 9. ábrán ödométeres kompresszió alávetett aszfaltminta látható, a terhelés után. Az átmérő változatlan maradt, a henger hossza láthatóan kb. 3 mm-t rövidült.



9. ábra [4]

2.4.1

A kompressziós és a duzzadási index meghatározása

A két anyagállandó meghatározása a (4) egyenlet analógiája alapján, de nem az egydimenziós σ nyomás, hanem az általánosított 3D modell szerint, a $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ átlagnyomásnak megfelelően történik. Az erre a célra legalkalmasabb 3 kísérlet eredménye a 10. ábrán látható.

Az izotróp tömörítésből (D 60 [2-7]) a következő értékeket számítottuk ki:

$$\lambda = 0,02906$$

$$\kappa = 0,00342.$$

A 10. ábrából látható, és ez megfelel az elméletnek [3], hogy az izotróp tömörítés duzzadási indexe nagyobb, mint az ödométeresé (B 60 [2-2]). Az ödométeres tömörítés eredményéből adódik:

$$\kappa^o = 00216.$$

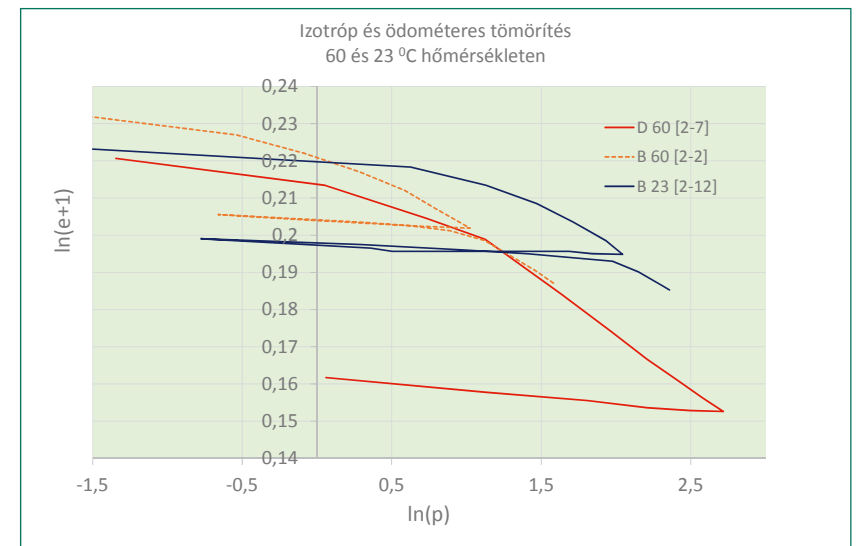
Az ödométeres tömörítésből számított duzzadási index kiszámításakor szükséges átlagos nyomás meghatározása egyszerűen a megmért triaxiális cellanyomásból könnyen lehetséges volt.

A (B 23 [2-12]) jelű, 23 °C hőmérsékleten elvégzett ödométeres tömörítés kísérletét is kiértékeljük. A rugalmas újratelhelési egyenesek alapján a következő két értéket számítottuk ki:

$$\kappa^o = 0,00226 \text{ és}$$

$$\kappa^o = 0,00186.$$

A numerikus értékek alapján is megállapítható a duzzadási index hőmérséklettől való függetlensége.



10. ábra [4]

2.4.2

A viszkozitási index meghatározása

A (2) egyenletből következik az alábbi összefüggés, melyet a sebességugrásokkal és a feszültségugrásokkal együtt a viszkozitási index meghatározására használjuk:

$$I_v = \frac{\ln(\frac{\sigma_a}{\sigma_b})}{\ln(\frac{\dot{\epsilon}_a}{\dot{\epsilon}_b})}. \quad (5)$$

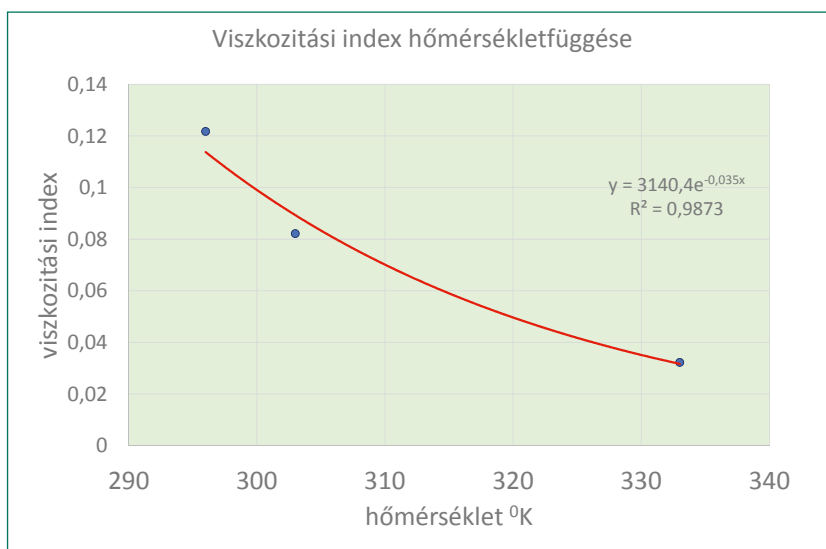
E célra a B 60 [PK 2-1], B 30 [PK 2-3], B 30 [PK 2-11] és a B 23 [PK 2-4] jelű kísérletek felelnek meg.

Az így meghatározott értékeket az 1. táblázat foglalja össze.

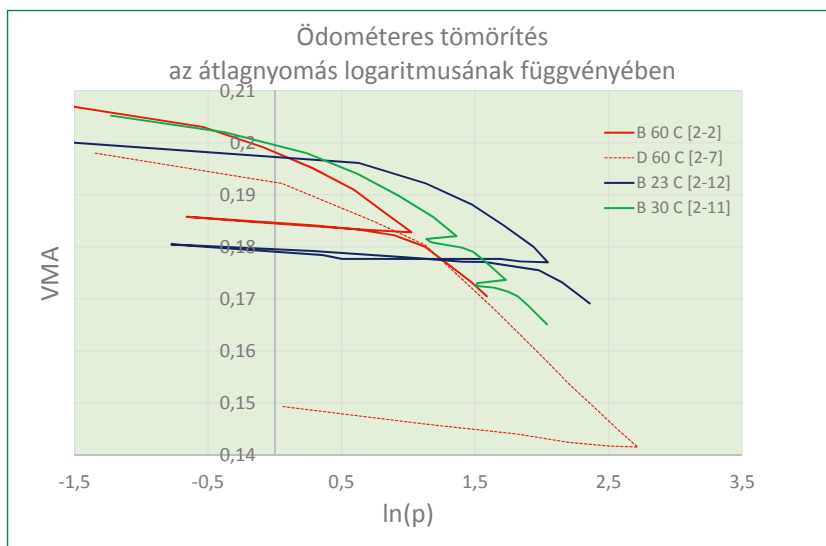
1. táblázat [4]

hőmérséklet [°C]	hőmérséklet [°K]	I_v	$n=1/I_v$
23	296	0,122	8,22
30	303	0,082	12,18
60	333	0,032	31,07

A viszkozitási index a kísérleti eredmények szerint hőmérsékletfüggő. Ez a függvénykapcsolat figyelhető meg a 11. ábrán.



11. ábra [4]



12. ábra [4]

Az elmélet szerint a viszkoplasztikus referenciasebesség $D_r = \dot{\epsilon}^{vis}$ állandó deformációsebesség $\|D\|$ esetén annak állandó tört része:

$$D_r = \|D\| \frac{\lambda - \kappa}{\lambda} \quad (6)$$

A $10^{-5}/\text{sec}$ ($10^{-3}\text{mm}/\text{sec}$ dugattyúsebesség) nagyságú tengelyirányú rövidülési sebesség mellett, a már meghatározott λ és κ paraméterekkel ennek nagysága:

$$D_r = \frac{10^{-5}}{\text{sec}} * 0,88224 = 8,8224 * \frac{10^{-6}}{\text{sec}} = 0,00088224\%/ \text{sec}.$$

Korábban [5], P.G. Bonnier disszertációja alapján [7] a NORTON féle kitevőt, mely a viszkozitási index reciproka, hőmérsékletfüggetlennek gondoltuk. Jelen munka szerint ez nem állja meg a helyét.

2.4.3

Az e_{e0} , p_{e0} , D_r referenciaparaméterek meghatározása

A kiértékelés a következő kísérletek alapján történt: B 60 [2-2], B 30 [2-11] és B 23 [2-12]. A tömörítési görbék a 12. ábrán láthatóak. Az x-tengelyen a 2.4.1 fejezetben definiált átlagnyomás van feltüntetve, ami szintén a 3D modell miatt szükséges.

A hipoplasztikus elmélet szerint különböző deformációsebességű ödométeres tömörítésekhez egymással párhuzamos, az 1. ábrának megfelelő tömörítési egyenesek tartoznak, melyeket egyértelműen meghatározzák a deformációsebességek.

Ebből következik, hogy egy adott hézagtényezőhöz és adott sebességhez egy jól meghatározott nyomásérték adódik. Ez az az értékhármas, mely egy adott hőmérsékleten egy anyagállandót határoz meg és amelyeket referenciaparamétereknek nevezünk. Azt a származtatott hőmérsékletfüggő anyagállandót, amit a referenciaparaméterek meghatároznak, a 2.4.4 pontban mutatjuk be.

Ez minden hőmérsékleten ugyanaz az érték. A 12. ábra szerint a $VMA = 0,178$ befogadó hézag mindhárom hőmérsékleten a képlékeny tömörítés egyenesének felső részén elhelyezkedő pontot jelöl, tehát az ennek megfelelő hézagtényező $e_{e0} = 0,217$ referenciaértéknek választható.

A referenciaértékek harmadik tagja meghatározásának (p_{e0}) megértése csak a 4. pontban ismertetésre kerülő 3D modell alapján lehetséges. Az izotróp referencianyomás (p_{e0}) kiszámításához a 2.4.1 pontban definiált átlagnyomás $p(e_{e0})$ mellett szükséges még az e_{e0} hézagtényezőhöz tartozó deviátorfeszültség $q(e_{e0}) = \sigma_1(e_{e0}) - \sigma_3(e_{e0})$ is, melyet a mért cellanyomásból és a tengelynyomásból számítunk ki.

A különböző hőmérsékletekhez tartozó adatokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat [4]

hőmérséklet [°C]	$p(e_{e0})$ [MPa]	$q(e_{e0})$ [MPa]	p_{e0} [MPa]
23	7,46	4,29	8,26
30	4,65	3,84	5,67
60	3,43	3,24	4,41

A keresett izotróp referencianyomást p_{e0} az utolsó oszlop tartalmazza, kiszámítása az alábbi összefüggés alapján történik (lásd (9b) egyenlet):

$$p_{e0} = p(e_{e0}) \left[1 + \left(\frac{q(e_{e0})}{p(e_{e0})M} \right)^2 \right] \quad (7)$$

A referencianyomás hőmérsékletfüggősége a 13. ábrán látható.

A korreláció mértéke a vártnál alacsonyabb. Ez a körülmény a tömörítés előtti befogadó hézag kísérleti meghatározásának pontatlanságára vezethető vissza.

2.4.4

A származtatott Γ anyagállandó meghatározása

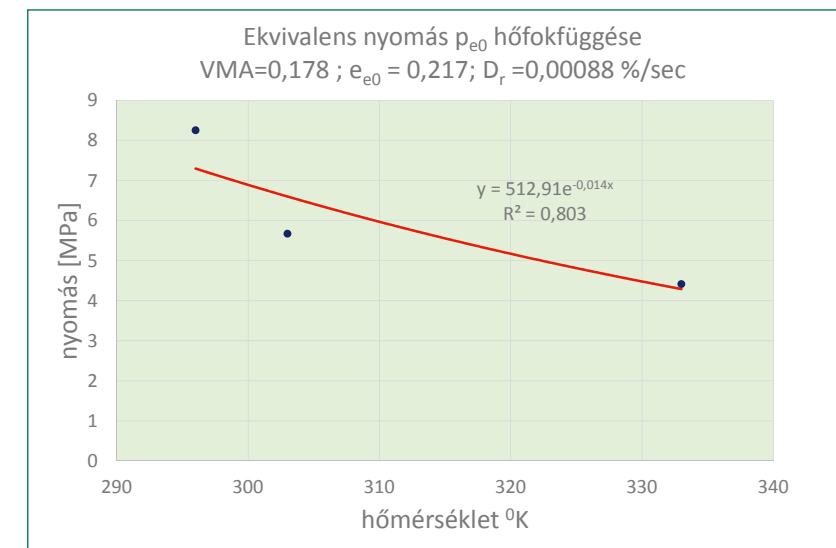
NIEMUNIS [2] szerint a származtatott anyagállandót az alábbi formula segítségével számíthatjuk ki:

$$\Gamma = [p_{e0}/(D_r^{I_v})] (1 + e_{e0})^{1/\lambda} \quad (8)$$

Az így számított értékeket a 3. táblázat tartalmazza.

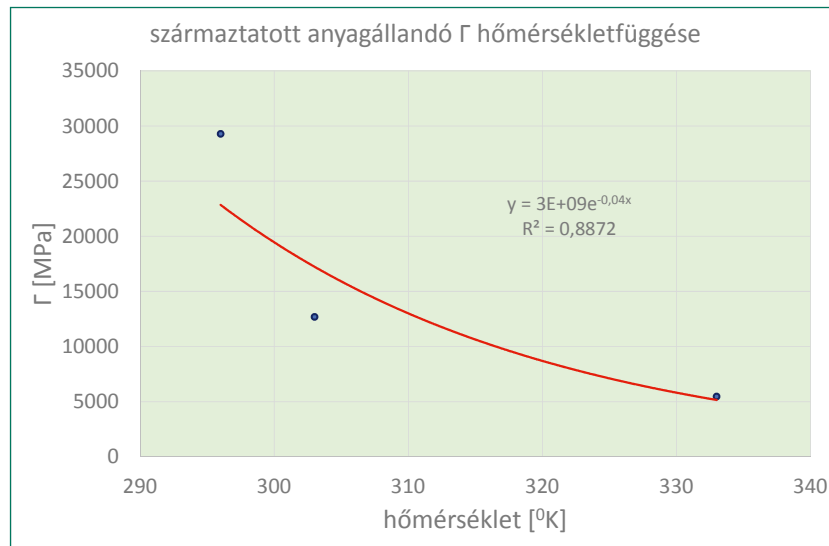
3. táblázat [4]

hőmérséklet [°C]	hőmérséklet [°K]	Γ [MPa]
23	296	29 289
30	303	12 685
60	333	5 461



13. ábra [4]

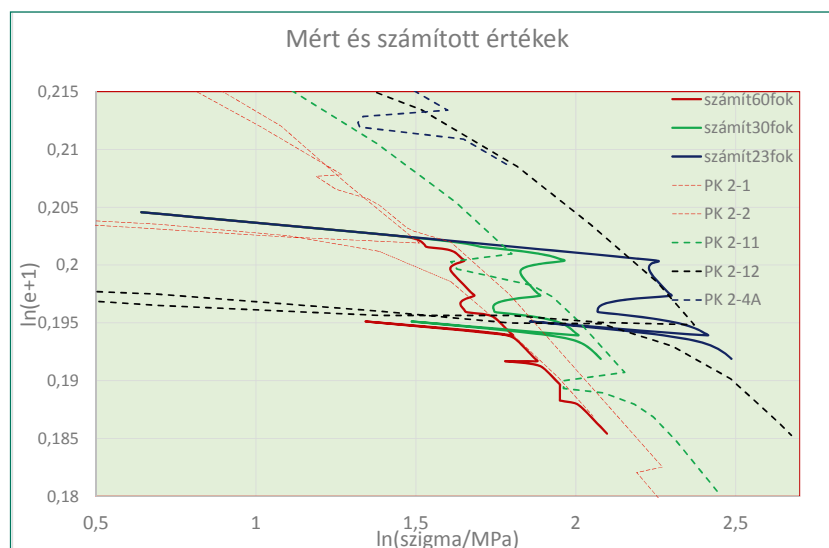
A hőmérsékletfüggés grafikus ábrázolása a 14. ábrán látható.



14. ábra [4]

4. táblázat

paraméter			23°C	30°C	60°C
súrlódási szög	φ_c [°]	43			
duzzadási index	K [-]	0,00342			
kompressziós index	λ [-]	0,02906			
viszkózitási index	I_v [-]		0,122	0,082	0,032
Norton kitevő	$1/I_v = n$ [-]		8,22	12,18	31,07
$D_r = \ \mathbf{D}\ \frac{\lambda - \kappa}{\lambda}$	[1/sec]	$8,822 \cdot 10^{-6}$			
e_{e0}	[-]	0,217 (VMA=17,8 %)			
p_{e0}	[MPa]		8,256	5,669	4,414
Γ	[MPa]		29289	12615	5461



15. ábra

Az itt is tapasztalható gyengébb korreláció szintén a befogadó hêzag meghatározásának bizonytalanságára vezethetô vissza.

Két referenciaérték megválasztása után a származtatott anyagállandó ismeretében meghatározható a harmadik referenciaérték.

A 4. táblázatban összefoglaltuk a NIEMUNIS féle viszkohioplasztikus anyagparamétereket.

3. 1D numerikus szimuláció

Az [1] irodalmi forrás tartalmaz egy egydimenziós (ödométeres) tömörítést és egy egydimenziós numerikus szimulációt. Ezzel analóg módon az aszfaltra meghatározott paraméterekkel megismételtük a szimulációs számítást, melyet a 15. ábrán mutatunk be.

Az ábrán a 7. ábrának egy résztartományát láthatjuk. A szagztatott vonalakkal a kísérleti eredményeket ábrázoltuk.

A folytonos színes vonalak jelentése ebben az esetben is ugyanaz, mint korábban. Bordó: 60 °C, zöld: 30 °C és a sötétkék vonal: 23 °C.

A sebességugrások és a tehermentesítés- újra terhelés mellett a 60 °C hőmérsékletű virtuális kísérletnél szimuláltuk a relaxációt és a kûszást is.

A szimuláció helyessége bizonyítja, hogy:

- az aszfalt egy viszkózus kôváz, akár a kötött talajok,
- melynek anyagállandóit helyesen határoztuk meg és
- a viszkohioplasztikus modellnek megfelelően viselkedik.

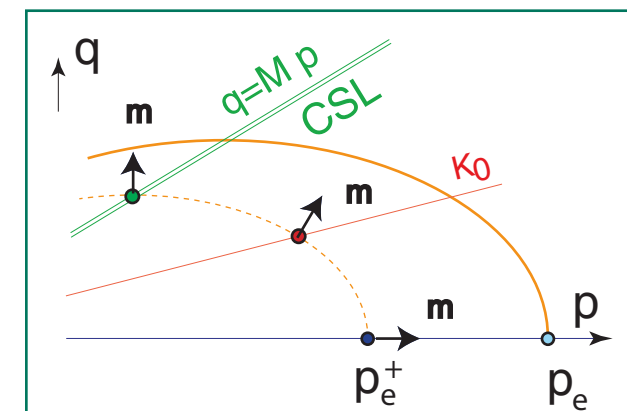
4. A 3D anyagmodell vázlatos bemutatása

A „Cam-Clay” modell volt az első képlékeny elmélet, melyet kifejezetten a talajokra fejlesztettek ki [8]. A NIEMUNIS féle viszkohioplasztikus elméletben felhasználásra kerül, ezért röviden jellemezni kell.

Eredetileg hengersizmetrikus állapotra érvényes, vagyis a képlékenységi feltétel, amely a „Modified Cam-Clay” elméletben egy ellipszis, a „p-q” koordinátarendszerben van megfogalmazva:

$$p(p - p_e) + \frac{q^2}{M^2} = 0, \quad (9a)$$

ahol „p” a már ismert átlagnyomás, „q” a főfeszültségek különbsége (deviátorfeszültség), „p_e” a HVORSLEV féle ekvivalens konszolidációs nyomás (lásd 2.1 fejezet), értékét a hêzagtényezô e ($VMA = \frac{e}{1+e}$) határozza meg. A „CSL” (Critical State Line) egyenes meredeksége $M = \frac{q}{p}$ és a kritikus súrlódási szög függvénye: $M \equiv M(\varphi_c)$



16. ábra [3]

A képlékenységi feltétel a p_e értéknél metszi a p-tengelyt, mely az izotróp tömörítés állapota, amikor p = p_e, és q = 0.

Képlékeny állapotban:

- ha $2p = p_e$, akkor az anyag a „kritikus állapotban”

van, a „CSL” vonalon, amely a képlékenységi ellipszist a függôleges fôtengelyben metszi. Ez azt jelenti, hogy a nyírófeszültség $q = \sigma_1 - \sigma_3$ értéke, korlátlan nyíródeformáció ellenére, változatlan marad és a hêzagtényezô (e, VMA) sem változik, térfogatváltozás nem következik be. Az **m** képlékeny folyás irányának nincs térfogati komponense, csak nyíró, mert a „q” tengely irányába mutat.

- ha $p > (\frac{p_e}{2})$, miközben a feszültségállapot kielégíti a képlékenységi feltételt, az anyag a „CSL” vonaltól jobbra helyezkedik el. Az **m** képlékeny folyás irányának van a „p” tengely irányába mutató komponense. Ez azonban növekvô p_e értéket jelent, vagyis a minta tömörödni fog, az ellipszis növekedni fog. Ha a pórusokat folyadék tölti ki, akkor az kinyomódik, vagyis az anyag felülete nedves lesz. Az anyag ilyen állapotát „lázának” vagy „nedvesnek” hívják.

- ha $p < (\frac{p_e}{2})$, miközben a feszültség állapot kielégíti a képlékenységi feltételt, az anyag a „CSL” vonaltól balra helyezkedik el. Az **m** képlékeny folyás irányának a negatív „p” tengely irányába mutató komponense van, vagyis a minta lazulni fog. Ez csökkenô p_e értéket jelent. A térfogatnövekedés miatt folyadékot szív magába, vagyis felülete „száraznak” mutatkozik, a minta „tömör”.

A 16. ábrán mindhárom fajta, a viszkohioplasztikus állandók meghatározásához elvégzett triaxiális kísérlet elhelyezhető: az izotróp kompresszió a „p” tengelyen van, az ödométeres a „K₀” egyenesen, a „törés” konstans cellanyomás mellett pedig a „CSL” egyenesen.

Az (1) egydimenziós egyenletnek az alábbi egyenlet felel meg a háromdimenziós modellben [2].

$$\dot{\mathbf{T}} = -\frac{3p}{(1+a^2/3)\kappa} \hat{\mathbf{L}} : (\mathbf{D} - \mathbf{D}^{vis}). \quad (10)$$

Ebben az egyenletben már tenzorok szerepelnek. $\mathbf{T}$ az objektív feszültségváltozás tenzora, míg $\mathbf{D}$ a deformációstensor változását jelöli, $\hat{\mathbf{L}}$ a negyedrendű rugalmas merevségi tenzor. A merevségi tenzort a feszültségállapot $\hat{\mathbf{T}}$ határozza meg, ezért a $\frac{3p}{(1+a^2/3)\kappa}$ skaláris szorzó a p átlagnyomással arányos. A sajátfeszültségek meghatározásának szempontjából az átlagnyomás merevségre való befolyásának döntő szerepe lesz a következő fejezetben. A viszkoplasztikus deformációk számítása analóg a (2) egyenlettel [2]:

$$\mathbf{D}^{vis} = m D_r \left(\frac{p_e^+}{p_e} \right)^{\frac{1}{I_v}}. \quad (11)$$

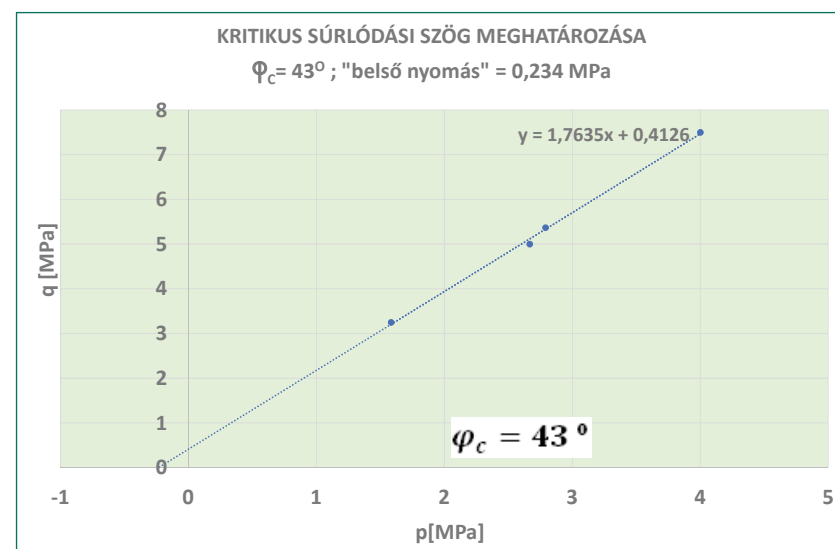
Itt azonban a viszkoplasztikus folyás irányát az **m** tenzorral ki kell számítani, ami a feszültségállapottól függ.

A folyási feltétel tulajdonképpen ugyanaz, mint a (9a) egyenlet [2]:

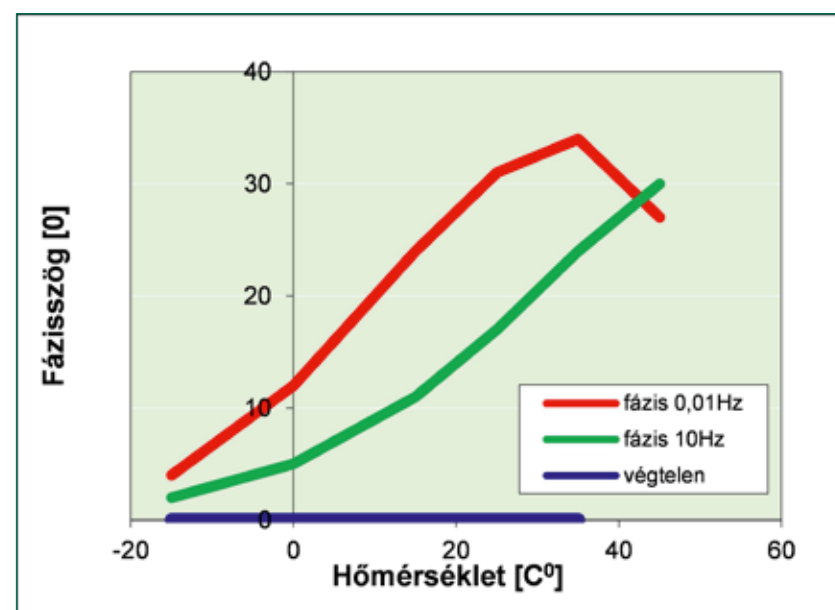
$$p_e^+ = p \left[1 + \left(\frac{q}{Mp} \right)^2 \right] \quad (9b)$$

A (3) és (4) egyenleteknek az alábbi összefüggés felel meg, itt azonban nem az egytengelyű σ feszültség, hanem a p átlagnyomás szerepel [2].

$$p_e = p_{e0} \left[\frac{1+e}{1+e_0} \right]^{-1/\lambda} \quad (12)$$



17. ábra [4]



19. ábra [5][9]

A hízagtényező változása: $\dot{\epsilon} = (1 + e)\dot{\epsilon}^v$ [3], ahol $\dot{\epsilon}^v$ a deformációváltozás volumetrikus komponense.

A háromdimenziós viszkohipoplasztikus modell a véges elemes számításokhoz szolgáltatja az anyag-egyenletet.

A (10) egyenletben az „a” skaláris mennyiség a φ_c kritikus súrlódási szög függvénye, melyet a 2.1 fejezetnek megfelelően állandó oldalnyomás mellett, triaxiális törési kísérlettel, 60 °C hőmérsékletű cellában határoztunk meg. A kísérleti eredmények a 17. ábrán láthatóak. A kritikus súrlódási szög értéke $\varphi_c = 43^\circ$ (lásd 4. táblázat).

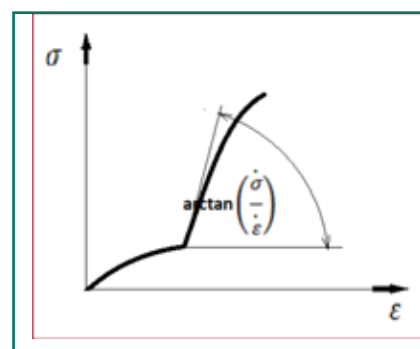
A kritikus súrlódási szög az ábrán látható egyenes meredekségéből adódik.

5. A lehülés okozta sajátfeszültség

Korábbi, ebben a tárgyban írt cikkem [5] a következő feltételezést tartalmazza: „Az aszfalt mért modulusa vegyi folyamatok hiányában csak úgy magyarázható, hogy a bitumen lehülés okozta térfogati zsugorodása a kővázat előfeszíti, vagyis a kőváz szemcséi közötti nyomást a bitumen lehülése indukálja.” A kísérleti igazolásra e munkában került sor.

A kísérleti munkát az alábbi megfontolás előzte meg. A (10) egyenlet, melynek érvényességét igazoltuk az aszfaltra, azt a kísérleti tényt fejezi ki, hogy a kőváz merevsége arányos a nyomással. Külső terhelés hiányában a kővázban uralkodó nyomást csak a sajátfeszültség adhatja, amit a bitumen lehülés okozta zsugorodása szolgáltat. Ez kimutatható, ha meg tudjuk mérni a viszkózitástól független rugalmas modulusot. Ha megfontoljuk, hogy a MAXWELL testben csak rugalmas deformációk keletkeznek egy deformációsebesség ugrás első pillanatában, akkor meg tudjuk mérni a rugalmas modulusot.

A mérés elve látható a 18. ábrán.



18. ábra

A rugalmas modulus tehát a sebességugrás pillanatában a „ $\sigma - \epsilon$ ” diagram meredeksége. Erre a vizsgálatra egytengelyű nyomó kísérleteket végeztünk a Braunschweigi Műszaki Egyetem Útügyi Laboratóriumában. A 100 mm magasságú, 50 mm átmérőjű hengeres mintákat a 3-as jelű, legtömörőbb (VMA = 14,0 %) aszfaltblokkból fúrattuk ki. A sebességugrást a terhelő dugattyú 0,01 mm/sec előtolási sebességéről 0,1 mm/sec sebességre való váltásával valósítottuk meg, 60, 40, 23 és 18 °C hőmérsékleteken.

Az eredményeket a 20. ábrán láthatjuk.

A sebességugrás első pillanatában a 21. ábrán látható rugalmas modulusokat számítottuk ki.

A rugalmas modulus hőmérsékletfüggését leíró összefüggés igen szoros korrelációt mutat. Ennek ellenére, a sajátfeszültség meghatározására további, pontosabb méréseket tartunk szükségesnek.

A 19. ábrán egy nemzetközi publikáció [9] alapján készült diagram látható, amely azt mutatja, hogy egy egytengelyű, szinuszosan változó, 0,01 Hz frekvencián terhelt aszfalthasáb fázisszöge növekvő hőmérséklettel 40 °C felett csökkenni kezd. Erre fizikailag értelmes magyarázatot csak a rugalmas merevség hőmérsékletfüggésével, vagyis a sajátfeszültségek hőmérsékletfüggésével kapunk.

Tudjuk, hogy a MAXWELL test fázisszögét a modulus és a viszkózitás a következőképpen befolyásolja:

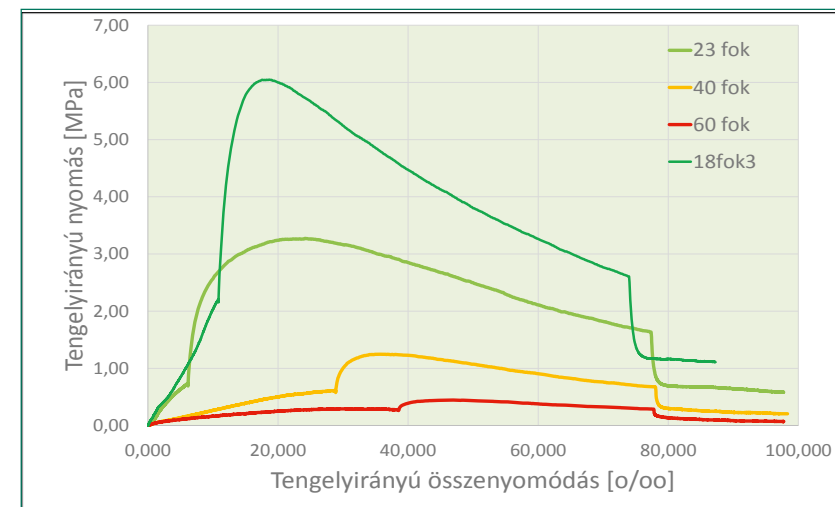
$$\tan \delta = \frac{E}{\omega \mu} \quad (13)$$

ahol E a rugalmas elem modulusa, μ pedig a viszkózus elem dinamikus viszkózitása.

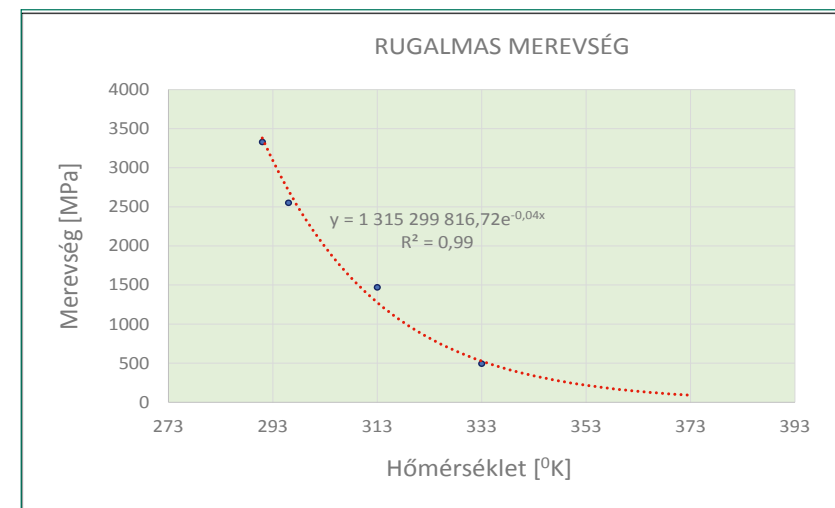
Abban az esetben, ha nemcsak a viszkózitás, hanem a rugalmas állandó is hőfokfüggő, akkor a δ fázisszög csökkenhet, ha a rugalmas állandó jobban csökken a hőmérséklettel, mint a viszkózitás.

6. A bemutatott eredmények felhasználása és jelentősége

A bemutatott eredmények legszűkebb felhasználási területe a numerikus vizsgálatokhoz szükséges anyag-egyenletek megfogalmazásánál van, vagyis a véges elemes számításoknál. Egyrészt igazoltuk a NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus modell érvényességét, másrészt meghatároztunk konkrét anyagállandókat is az AC 11 típusú aszfalt kopórétrege.



20. ábra [4]



21. ábra [4]

Az útépitési gyakorlatban a mai napig nem használatosak a korszerű véges elemes programok, szemben a geotechnikai gyakorlattal. A lemaradás oka talán éppen az, hogy a mai napig nincsenek az aszfaltra elfogadott, sikeres anyagmodellek. A használt mechanikai modellek mindmáig lineárisan rugalmasak. Ez arra világít rá, hogy az aszfalt mechanikai viselkedésére vonatkozó kutatásokra nemzetközileg is igen kevés figyelmet fordítanak.

Ez utóbbi megállapítás átvezet a viszkohipoplasztikus modell érvényessége igazolásának jelentőségéhez, mely abban van, hogy a viszkózus kőváz relatív egyszerű modellje érvényes a bonyolultnak hitt, összetett aszfaltra. Az igazolt modell fogódzót ad a gyakorlatban tapasztalt problémák megoldásában is. Néhányat megemlítenek.

Megállapítottuk, hogy az aszfalt egy viszkózus kőváz. Ebből következik, hogy annak modulusát és szilárdságát nem a kötőanyag, hanem a kőváz adja. A (10) egyenletből közvetlenül látható, hogy a merevséget a kővázban uralkodó hatékony nyomás adja. E körülménynek nagyobb figyelmet kell szentelni az aszfaltkeverék komponensei arányának tervezésében. Az érvényes szabványok teljes mértékben figyelmen kívül hagyják ezt, mert az ajánlott bitumen arány szinte független a befogadó hézagtól, mert a kettő harmonizációja nincs megteremtve.

Így nincs kizárva a bitumen túlادagolása, a semleges nyomások létrejötte, vagyis a kővázban uralkodó hatékony nyomás leépülése és a modulus, illetve szilárdság lecsökkenése. A mai gyakorlat a modulus növelését a kötőanyagtól reméli, ezért azt modifikálja. Ebből a nehéz tömöríthetőség, gyors öregedés, majd fáradás következik. A lágy bitumenek használata célravezetőbb lehetne.

A lágy bitumenek és a befogadó hézaggal harmonizáló optimális bitumentartalom magasabb fokú tömörítést igényelne az öregedés meggátlása céljából. A hatékonyabb tömörítési technika kidolgozásában is segít a hipoplaszticitás elmélete. Célszerű lenne olyan gépi tömörítés kidolgozása, mely a ciklikus nyírás egyébként ismert tömörítési hatását jobban kihasználná, mint a mai hengerlési technika.

Néhány évvel ezelőtt RICHTER ugyanezeket a szempontokat ajánlotta a HAPA konferencia figyelmébe és mutatta be Németországban készült kísérleti útszakaszait [10]. 2020 októberében a szerző kezdeményezésével a Magyar Közút Nonprofit Zrt. megbízásából, a Strabag Építő Kft. kivitelezésében „Maradó alakváltozással szembeni ellenállás javítása” tárgyú kísérleti szakasz készült az 1. számú főút jobb oldalán az 51+251 – 51+607 km szelvények között, ami szintén összhangban van az előbb megnevezett, tudományosan megalapozott szempontokkal [11].

E kutatásban látszólag „csak” elméleti témával foglalkoztunk. Az ilyen jellegű kutatásnak azonban sokkal nagyobb gyakorlati hatásai lehetnek, mint azt gondolnánk.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. Niemunis, S. Krieg: Viscous behaviour of soil under oedometric conditions, Canadian Geotechnical Journal; 33:159-168, 1996
- [2] A. Niemunis. Extended hypoplastic models for soils, Habilitation thesis, Ruhr-University, Bochum, 2002.
- [3] A. Niemunis, F. Prada: 1D Visko-plastizität des Bodens IBF Karlsruhe, BM III, 13. Dezember 2018
- [4] Gajári Gy.: Zárójelentés (2018-1.3.1-VKE-2018-00008 Viszko-hipoplasztikus aszfalt anyagmodell kifejlesztése és alkalmazása az útpálya tervezésben, az NKFI támogatásában), 2022 január
- [5] Gajári Gy.: A hengerelt aszfalt, mint részben telített, lehülés okozta izotróp sajátfeszültséggel bíró szemcsés anyag, viszko-hipoplasztikus anyagmodellje. Az aszfalt, XXVI. évfolyam 2019/1. 58-72. oldal
- [6] Gajári, G., Kisgyörgy, L., Ádány, S., Mahler, A., Lógó, J. (2021) A Visco-hypoplastic Constitutive Model for Rolled Asphalt, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(3), pp. 798–809. <https://doi.org/10.3311/PPci.17515>
- [7] P. G. Bonnier. Testing, modelling an numerical analysis of the mechanical behaviour of bituminous concrete. Proefschrift, TU Delft, 1993
- [8] A. Schofield & P. Wroth. Critical state soil mechanics McGraw-Hill London 1968
- [9] D. Alejandro, R. Cardona, S. Pouget, H. Di Benedetto, F. Olard: Viscoelastic Behaviour Characterization of a Gap-graded Asphalt Mixture with SBS Polymer Modified Bitumen. Mat. Res. vol.18 no.2 São Carlos Mar./Apr. 2015, <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.332214>
- [10] E. Richter.: Nagytömörségű aszfalt (HVA). Az Aszfalt XXVI. évfolyam, 2018/1. szám
- [11] A 227471 lajstromszámú magyar szabadalom (Jogutódlás: Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítő 2012.07.30.): „Eljárás útépitési aszfalt maradó alakváltozással szembeni ellenállásának javítására”, Közzététel: Szabadalmi Közlöny és Védjegyértesítő 2009.04.28.

A Főváros burkolatgazdálkodási folyamatainak fenntartása, jelenlegi állapota és jövőképe a Budapest Közút szemszögéből

Szőke Gábor

vezérigazgató
Budapest Közút



1. Budapest közút feladatellátása

Budapest Főváros Önkormányzata és a Budapest Közút Zrt. 2016-ban Feladat-ellátási és Köszolgáltatási Keretmegállapodást kötöttek, melynek tárgyát képezi a Közútkezelési feladat-ellátási és közszolgáltatási tevékenység, valamint a Taxiállomás üzemeltetési közszolgáltatás és a Teherforgalmi - Parkolási közszolgáltatások.

Budapest Közút folyamatosan figyelemmel kíséri és elvégzi a Főváros teljes közúthálózatán (közel 5000 km) valamennyi forgalomtechnikai létesítmény operatív kezelői és üzemeltetői feladatait. Folyamatos forgalmi rend felülvizsgálatokat végez és a forgalom megváltozó igényei szerint módosítja a forgalmi rendet, segítve a minél gyorsabb és folyamatosabb közlekedést. Ellátja a Főváros kezelésében lévő fő és tömegközlekedési útvonalak (1312 km), kerékpárutak (146 km), közúti és gyalogos hidak (307 db), aluljárók (78 db), felüljárók, műtárgyak, parki utak fenntartási, üzemeltetési és operatív közútkezelői feladatait. Ellátja a Főváros kezelésében lévő fő és tömegközlekedési útvonalak fenntartásával és üzemeltetésével kapcsolatos útkarbantartói és kisebb útfelújítási munkák kivitelezését. Gondoskodik a forgalmi rendet szabályozó eszközök, létesítmények (155 000 jelzőtábla, 613 000 m² útburkolati jel, 1137 db jelzőlámpás csomópont) folyamatos és biztonságos működtetéséről, fenntartásáról, pótlásáról. Működteti a SIEMENS SCALA szoftver útján a forgalomirányító központot, elvégzi a szükséges prog-

rammódosításokat, összehangolások tervezését, megvalósítását. Üzemelteti a közel 300 kamerából álló zártláncú forgalomfigyelő rendszert., Infokommunikációs rendszereket üzemeltet és fejleszt (KARES-Z-KAPU, SCALA-IKSZR, ITS stb.) Ellát különböző vasúttechnikai, útépitési mérnöki-műszaki ellenőri feladatokat fővárosi és külső megrendelés keretében.

Jelentősebb fővárosi forgalmat befolyásoló projektek:

- FINA pesti alsó rakpart Margit híd és a Parlament közötti átalakítása 2021. év végére kiépült, egy Duna menti sétány részeként kerékpáros és gyalogos közlekedésre alkalmas burkolat került kiépítésre.
- A Fővárosi Vízművek bonyolításában a Kossuth tér és az Erzsébet híd közötti pesti alsó rakparton 2021. évben megkezdődött az 1200 mm átmérőjű SENTAB főnyomóvezeték cseréje 3 km hosszban, amelynek várható átadása 2022. április közepére várható.
- Az elmúlt évi kedvező tapasztalatok alapján a pesti alsó rakpart lezárása a nyári időszakban hetenként a gyalogosok, kerékpárosok számára továbbra is megmarad, amelyhez a Közút jelentős forgalomtechnikát biztosít.
- Jelentős forgalmi nehézségeket okozott a BKV beruházásában megvalósuló M3 metróvonal közlekedési szakasz

felújításánál a metrópótló buszok közlekedésének biztosítása, a forgalmi busz sávok kialakítása, a buszfordulók elhelyezése. Az E-i és a D-i szakasz felújítási munkái befejeződtek. A metrópótlás a felújítás befejezéséig, várhatóan 2023. év tavaszáig folyamatos lesz. A metró felújítás mérnöki/műszaki ellenőri munkáit a Budapest Közút látja el.

- Jelentős forgalmi átrendeződést jelentett, hogy 2021. év júniusától lezárásra került a Lánchíd. A BKK bonyolításában a Budapest Közút látja el a mérnöki/műszaki ellenőri feladatokat. A tavalyi évben a pályaszerkezet került kiépítésre, a láncok korrózióvédelme megtörtént. Jelenleg a pilonok felújítása, a kőburkolatok restaurálása és egyéb acélszerkezetek korrózióvédelme van folyamatban. A felújítás ütemterv szerint folyik, várhatóan az útpálya ez év végén átadásra kerül a forgalom számára. A teljes átadás 2023-ban várható, amely időpontig a járda, a hídkorlátok és a köz és díszkivilágítás is megújul.
- A kerületi igények kielégítésére a Főváros- BKK- Budapest Közút koordinálásában bevezetésre kerültek új forgalomcsillapítási helyszínek (belső Erzsébetváros, V. ker.), kerékpáros útvonalak, előkészítés alatt van a több kerületet is érintő kizárólagos lakossági parkolás, kialakításra került a Hegyalja úti buszsáv és megkezdődtek a mikromobilitási pontok létesítései.
- A BKK bonyolításában és a Budapest Közút műszaki ellenőrzésével 2021. évben megkezdődött a Blaha Lujza tér felújítása, amely során a Nagykörút- Rákóczi úti csomópontot érintő szigetelési és az ezzel együtt járó forgalomkorlátozással járó munkák 2021. október végéig befejeződtek. A teljes befejezés 2022. november végére várható.
- A Kormány, a Főváros és a BFK partnerségében megindult a pesti alsó rakpart átmenő gépjárműforgalomtól mentes, a belváros szerves részét képező, árnyékokat adó fákkal és növényekkel beültetett közpark tervezése, amely várhatóan 2023. évre prognosztizálható. A parko-

lőhelyek nagy részét gyalogos és kerékpár használatra alkalmas területek váltják fel.

Budapest Közút az általa kezelt fő- és tömegközlekedési útvonalon jelentkező fenntartás jellegű útburkolati javítási munkák között megjelenik (útpálya, járda, kő- és viacolor burkolatok) és szegélyjavítási munkák mellett a kátyúk, nyomvályúk, burkolathiányok megszüntetése, burkolat-süllyedések, burkolat beszakadások javítása, porondfelületek rendezése, burkolatlan és burkolt árkok, illetve egyéb vízelvezető rendszerek tisztítása, illetve karbantartása.

2. Budapest közúthálózat fenntartásának informatikai támogatása

KARESZ - KAPU térinformatikai rendszer

Közüti Adatgyűjtő Rendszer (KARESZ) kialakítása 2010-ben kezdődött a Budapest Közút saját személyi kapacitásának igénybevételével, amely 2013. év második felében állt munkába. A kialakított modern adatgyűjtési mérési módszer lényege, hogy a nagy pontosságú 3D lézerszkennerekből, kamerákból, illetve precíziós navigációs rendszerből álló műszer együttes képeket és 3D pontfelhőt készít az adott objektumról, így azok nemcsak láthatóvá, hanem mérhetővé és elemezhetővé is válik. Így minden út, épület, műtárgy nemcsak látható, de mérhető és elemezhetővé válik a készített adatok alapján. A KARESZ által előállított térinformatikai adatok rendelkezésre állásával számos területen nyíltak meg a lehetőségek a hatékonyabb munkavégzésre. Az előállított vektoros nyilvántartás nem pusztán egy digitális megvalósulási terv, hanem a modern térinformatika segítségével magában hordozza a villámgyors keresések, összehasonlítások és elemzések lehetőségét is.

A Közüti nyilvántartás vezetése az elmúlt években hatalmas fejlődésen ment keresztül. A Közüti Adatgyűjtő Rendszer (KARESZ) már nem csak egy önálló adatgyűjtési tevékenység, hanem egy komplex adattárház és térinformatikai szolgáltatási központ része lett.



Közterületi Adatok Publikációja (KAPU)

3D- s térinformatikai felmérés elemei

PONTFELHŐ ÉS KÉPI ADATBÁZIS

A pontfelhő és a fényképi adatbázis mellett, hogy kiválóan szolgál tervezői feladatok alapadataként (útburkolat-felületi vizsgálatok, homlokzatrajzok stb.), illetve a KARESZ által előállított 3D térképi adatbázis alapjaként egyaránt, emellett egy vizualizációs eszköz is, mely alapján mind utcakép, mind pedig 3D-s nézetet kapunk a városról. E pontfelhő alkalmazásával készül el Budapest nagy pontosságú 3D útkataszttere, illetve az útállapot állapotelemzése. A KARESZ célja, hogy évi rendszerességgel készítsen Streetview jellegű adatállományt Budapestről, melynek megjelenítési felülete a KAPU rendszer.

FORGALOMTECHNIKAI VÁZTÉRKÉP

A KARESZ által előállításra kerül a teljes városra az ún. Forgalomtechnikai vázterkép, mely tartalmazza a forgalomtechnikai elemeket: úttest széle, jelzőtáblák, jelzőlámpák, burkolati jelek, kiegészítő jelzőtestek (prizmasorok, terelőelemek), szalagkorlátok, parkolásgátló elemek, illetve egyéb utcabútorok (pad, kerékpártámasz). Emellett tartalmazza a fenti útszakaszoknál épületfaltól épületfalig a burkolt és burkolatlan felületeket, így mérhetővé válnak a felújítandó, karbantartandó, vagy takarítandó út és járdafelületek. A növényzetek tekintetében felületként elérhetőek a zöldfelületek, illetve pontszerű elemként az egyedülálló fák. Utóbbiaknak a törzsátmérője és a magassága leíró adatként szintén tárolásra került. Ezen adathalmaz változáskövetése folyamatos, a cél a naprakész nyilvántartás létrehozása és fenntartása.

A szolgáltatási központ „lelke” a KAPU webes térinformatikai portálja, melyen keresztül az információ minden érintettnek eljuttatható. Kiemelt felhasználói körünkbe tartozik a FŐKERT, BKV Zrt., Főtáv, FCSM, Vízmű, valamint több kerületi Önkormányzat.

A 34/2005 Gkm. rendelet, illetve az ehhez kapcsolódó 34/2008 Fkgy. rendelet alapján a Fővárosi Önkormányzatnak nyilvántartás vezetési közfeladata van. A 189/2011 a Magyarország helyi önkormányzatairól szóló tv. 23.§ (4) alapján a Fővárosi Önkormányzat közútkezelői feladatokat lát el, amelyek jelentős részével közszolgáltatásként a Budapest Közutat bízta meg.

A KARESZ-KAPU környezet hasznosításának célja a főváros közútkezelését téradatokkal és hozzá tartozó szolgáltatásokkal segítő rendszer fejlesztése. A KARESZ-KAPU rendszer rendelkezik a legnaprakészebb és egységesebb adatkörrel, továbbá ezen adatok legkorszerűbb megjelenítési felületével. A Budapest Közút nyilvántartási kötelezettsége több irányból is közszolgáltatási tevékenységnek minősül, így a KARESZ-KAPU rendszerek is részei közszolgáltatásnak.

A Budapest Közút által létrehozott KARESZ-KAPU-ban rendelkezésre álló adatokból kinyerhető szerteágazó több szakág részére hasznos információ, úgy, mint tér és alapadatok, forgalomtechnikai vázterkép, utcabútorok, növényzet, a teljes közüti nyilvántartás adattartalma, a forgalmi rend nyilvántartástól elkezdve a kezelői határokon át, az utak állapota.



3D útkataszter

A KARESZ adatgyűjtési portfóliója magába foglalja a Közút műszaki alaptérképét, mely választ ad már a közműszolgáltató cégek adatigényeire is. Tartalmazza továbbá a tervezési alaptérképet, mely alkalmas a tervezési igényeket kielégítő, szélső pontosságú és nagy objektum részletességű alaptérkép létrehozására. Ezen termék előállítására jelentős költségekkel bír, emiatt területileg nem a teljes városra kerül előállításra, hanem az egyes projektek részeként készülnek el. A portfólió részét képezi még a megvalósulási térkép felmérése, mely megfelel a beruházások befejezésével az átadás-átvételi folyamat része a megvalósult állapot dokumentálása. a teljes valóság megjelentetése a terepet ábrázoló pontfelhő és fényképi dokumentációs adatokkal.

3. A Fővárosi Közgyűlés döntése alapján a Budapest Közút bonyolításában és mérnöki/műszaki ellenőrzésével végzett útfelújítások 2021. Évből

II. kerületi Bimbó utca (Gábor Áron u.-Fenyves u.)

801 m hosszon 6.223 m² felületen két rétegben 30% lokális javításokkal, a szegélyek teljes hosszán mindkét oldalon végzett nagyfelületű kivitelenítés, a járda teljes szélességű átépítése mellett. A kiviteli terveket a II. kerület Önkormányzata készítette. A kivitelenítés keretében megújult 4 db buszmegálló erősített aszfalt pályaszerkezettel és Kassai szegéllyel, ezzel párhuzamos munkavégzéssel a Vízművek Zrt. vízvezeték cserét hajtott végre. Ebből is látható, hogy mennyire összetett, több résztvevős egy nagyfelületű kivitelenítés, melyben elengedhetetlen a folyamatos koordináció.

XII. kerületi Szarvas Gábor utca (Kútvölgyi út-Tordai utca közötti szakasz)

223 m hosszon a csomópontok kivételével teljes pályaszerkezet került átépítésre, felpályás egyirányúsítású forgalomtechnikai terelessel. A csomópontok aszfaltozásakor a buszjáratok terelt útvonalon közlekedtek.

XIX. kerületi Derkovits Gyula utca (Simonyi Zs. u. - Csokonai u. és Vasúti átjáró - Malomkő u.)

A kivitelenítés 3 ütemben valósult meg, szegélycserével, járda teljes átépítésével. Párhuzamos munkavégzéssel az FCSM csapadékvíz csatorna korszerűsítését végezte el.

XIV. Róna utca (Szugló utca – Erzsébet királyné útja)

1.201 m hosszon 2 réteg aszfalt burkolat cseréje, a szegélykorrekciók helyén teljes pályaszerkezet cseréje történt meg. 3 db bazaltbeton burkolatú és 4 db erősített aszfalt burkolatú buszmegálló került kiépítésre, a teljes szakaszon irányhelyes kerékpársávok alakultak ki. A megállóhelyek környezetében a járdaburkolatok teljes szélességben megújultak. A Korong és Gyarmat u. között 76 fm-n DN 125 vízvezeték cseréje és 20 db meglévő víznyelő áthelyezése történt meg.

2021. év végén az útpálya forgalomnak átadásra került, a még hátralévő kisebb kivitelenítési munkák 2022. áprilisában befejeződnek.

XI. Október huszonharmadika utca, Irinyi József utca (Fehérvári út – Bogdánfy utca)

Fővárosi Vízművekkel közös projektben valósul meg

783m hosszon teljes szélességében mintegy 30%-ban teljes pályaszerkezet cserével. A Fővárosi Vízművek megbízásából egy DN 800 és DN 200 vízvezeték cseréje történik meg a 2x2 forgalmi sáv folyamatosan biztosítása mellett.

A buszvégállomás bazaltbeton burkolatot kap. A Főkerettel együttműködve megújulnak a zöldfelületek és a fasorok, irányhelyes kerékpáros infrastruktúra kerül kialakításra a Bocskai út jelenlegi forgalmi rendjéhez igazítva. 2021. évben elkészült az Irinyi J. utca szervízutak felújítása és a DN200-as vízvezeték cseréje a Pest felé vezető oldalon a szélső sávban kb. 400 m hosszon.

A projekt várhatóan 2022. júniusában befejeződik.

4. A Fővárosi Közgyűlés döntése alapján a Budapest Közút SAJÁT KAPACITÁSÁVAL végzett útfelújítások 2021. évben

XX. Mártírok útja (Határ út-Kossuth Lajos utca):

Részben teljes pályaszerkezetes, többségében 2 rétegű útfelújítás történt 860 méteres szakaszon. A szegélyek, járdák részben kerültek felújításra. A felújítás építési engedély köteles volt, tekintettel arra, hogy a Határ út csatlakozása előtt a jobb oldali buszmegálló újonnan kialakított öbölbe került, illetve a Szigligeti utca kereszteződésénél új gyalogátkelő létesült. A gyalogátkelőhelyeknél a közvilágítás átépítésre/korszerűsítésre került. Az útfelújítással párhuzamosan az NKM Zrt. gázvezeték cserélt a helyszínen.

XX. Kossuth Lajos utca (Szent Erzsébet tér-Jókai Mór utca)

Teljes pályaszerkezet cserés útfelújítás történt 486 méteren. Átépült az összes járda és mindkét oldali szegély, továbbá a gyalogátkelőhelyeknél a közvilágítás átépítésre/korszerűsítésre került.

XV. Bogáncs utca (Régi Fóti út - Esthajnal u.):

Az útfelújítás 683 méteren, 7 m szélességben, 4866 m²-en teljes pályaszerkezet cserével, a teljes szegélysor cseréjével valósult meg. 926 m² járda burkolat készült, 2 db buszmegálló SMA erősített aszfalt burkolatúra lett átépítve.

XXII. Kossuth Lajos utca (Savoya Jenő tér - Tóth József utca):

912 m hosszon 2 réteg aszfaltburkolattal, szükség szerint lokális javítással készült el, az NKM Zrt. az útfelújítást megelőzően gázvezeték cserét végzett.

XV. Esthajnal utca (Közvágóhíd u. - Szántóföld u.)

Teljes pályaszerkezetes felújítás történt 667 méter hosszban 3.964 m² útfelületen, szegélycserével. Víztelenítés csapadékcatorna hiányában szikkasztókkal került kialakításra, 406 m² járda és 262 m² kapubeajtó újult meg.

X. Mádi utca (Kada utca - Sibrik Miklós utca)

A teljes szakaszon 2 réteg aszfalt burkolat cseréje történt meg 850 méter hosszon. A kivitelenítés keretében a VEKOP Projekt részeként a kerékpárút előkészítés miatt, lokális szélesítésekkel, közvilágítási hálózat átépítésével, kis részben a járdák, a kapubeajtók is átépítésre kerültek. Parkolók és 3 db folyópályás buszmegálló kerültek kiépítésre. A Lavotta utcai csomópontban új gyalogátkelőhely létesült.

5. Burkolatgazdálkodási rendszer (PMS)

A Budapest Közútnál működő jelenlegi burkolatgazdálkodási modell a hálózati szintű döntés előkészítés támogatását tűzte ki célul. A hálózati szintű modellezés célja, hogy a teljes hálózatot tekintve a szükséges beavatkozási helyeket meghatározza. A Burkolatgazdálkodási rendszer (PMS) olyan döntéstámogatási elemzés, ami objektív méréseken alapuló tudományos alátámasztást nyújt az útfelújítási költségek és műszaki erőforrások optimalizálás felhasználására. A rendszerrel meghatározhatók az egyes beavatkozások költségei, illetve a ráfordítások alapján a teljes hálózat hosszútávon várható állapotváltozása is. A burkolatgazdálkodás rendszere három fő részre osztható:

1. Hálózati leltár, adatgyűjtés, állapotértékelés
2. Modellezés, elemzés, javaslatok
3. Eredmények felhasználása



A közlekedési létesítmények tulajdonosainak, kezelőinek törvényekkel alátámasztott feladata, hogy „jó gazda módjára” törekedjenek a rájuk bízott létesítmények állagának és értékének minél hosszabb ideig történő megővására. A fővárosi közúti vagyon eléri az 845 milliárd forintot. Az ekkora összegű vagyonelemek feletti felelős gazdálkodás megköveteli, hogy a létesítményekről megfelelően friss és pontos információkkal rendelkezzen a kezelő. A rendelkezésre álló adatok alapján történő felelős gazdálkodást segítheti a Burkolatgazdálkodási rendszer is. Ezen vagyoni érték állagának, minőségének és így értékének megőrzése önmagában is fontos és jelentős költséggel járó kötelezettsége a tulajdonosnak és a fenntartónak. Nemzetgazdasági szinten ezen értékmegőrzési, karbantartási feladatokhoz további számszerűsíthető többletköltség-elemek is kapcsolódnak pl. a felújítások okozta forgalomkorlátozások közlekedés-üzemi és idő költségek, továbbá az esedékes karbantartási munkák elmaradása esetén a közúthálózat minőségromlása okozta többletköltségek.

A PMS rendszer egy olyan költségoptimalizálási folyamat része, amely lehetővé teszi a hosszú távú költségtervezést. A költségoptimalizálás, a közútfenntartási beavatkozások helyes időzítésével és rangsorolásával nemcsak Társasági szinten, de akár nemzetgazdasági szinten is érzékelhető változásokat indukálhat. Egy ilyen átfogó rendszeren keresztül a beavatkozások minősége is nyomon követhető. A PMS rendszer távlati célja, hogy az éves útfelújítási tervek meghatározását mért adatok alapján mérnöki számításokkal támogassa, illetve a közút üzemeltetési stratégiájának alapja legyen. A Budapest Közútnak - mint a fővárosi utak üzemeltetőjének - eltökélt célja, hogy a mai kor elvárásainak megfelelő hatékonysággal lássa el a feladatát. A Társaság a burkolatüzemeltetéssel kapcsolatos döntéseket minél inkább a közúti nyilvántartásban szereplő friss és hiteles adatok alapján kívánja meghozni, amelyhez a korszerű adatgyűjtéseken kívül szükség van az adatelemzés fejlesztésére is.

A Budapest Közút már 2010 óta rendelkezik útburkolatgazdálkodási rendszerrel, amelynek első változatát a KTI

(Közlekedéstudományi Intézet) készítette el. 2018. évben, 8 évvel az első változat elkészülte után a KTI Közlekedéstudományi Nonprofit Kft. kapott megbízást, hogy az időközben szerzett helyi és külföldi tapasztalatok és különböző szakvélemények felhasználásával a PMS rendszert tovább fejlessze, hatékonyságát növelje.

A hálózati leltár és állapotértékelés nem pusztán burkolatgazdálkodási feladat, hiszen a fővárosi úthálózatról leltári nyilvántartás vezetése, a teherbírási és felületi épség állapotadat ismerete közfeladat.

- A kezelt utak 80%- ára van teherbírásmérésünk, ebből 70% 5 évnél nem régebbi. Évente kb. 200- 250 km út teherbírását mérjük meg. Nagyjából 6-7 évente jutunk vissza egy-egy útra.

- Felületi épség az utak 100%- ára rendelkezésre áll, ezt évente elkészítik az üzemeltetők.

- Forgalmi adat az utak 95%- a rendelkezésre áll, amely a BKK- tól az Egységes Forgalmi Modellből származik.

- Pályaszerkezeti adat kb. 1400 helyszínről van, de ennek jelentős része nem laborvizsgálat, hanem a szerkezetről a közműbontások idején készült fénykép. Évente kb. 100 helyszínen készítettünk laborral fúrásokat.

- IRI adat az utak 75%- ára rendelkezésre áll. Ezen adatok sajnos régi (2015-ös) adatok, és nem is igazán jól jellemzik a városi utakat. Célunk az IRI helyett a hálózatra nyomvályú elemzést készíteni a pontfelhő alapján.

- A 2019. évben meghatározásra kerültek azok az etalon szakaszok, melyek hosszútávú rendszeres vizsgálatával a budapesti környezetre jellemző leromlási tendenciák pontosíthatók.

A Fővárosi Burkolatgazdálkodási Rendszer modellezési eredményei alapján 2015., 2018. és 2020. évben készült részletes állapotjelentés és útfelújítási javaslat lista rangsorolással, költségbecsléssel.

- 2020. év elején elkészült a kátyútérkép, illetve a kátyú alapú nagyfelületű javítási lista elemzése.

- 2019. évben hosszútávú pénzügyi szcenáriók elemzésével kimutatásra került a jelenlegi útállapot színvonal fenntartásához szükséges elméleti forrásigény.

- Elkészült az úttengely hálózat átalakítása, hogy a burkolatgazdálkodásnak megfelelő részletességű tengelyállomány előálljon.

- Folyamatban van a felületi egyenetlenség felmérés korszerűsítése. A KARESZ pontfelhő alapján a nyomvályú vizsgálat elkészült a teljes üzemeltetett hálózatra.

- A mennyiségi, minőségi és állapotadatok adatok megjelennek a különböző KAPU felületeken. Ezeket a szakterületek rendszeresen használják a beérkező tervek véleményezésénél, azok ellenőrzésére.

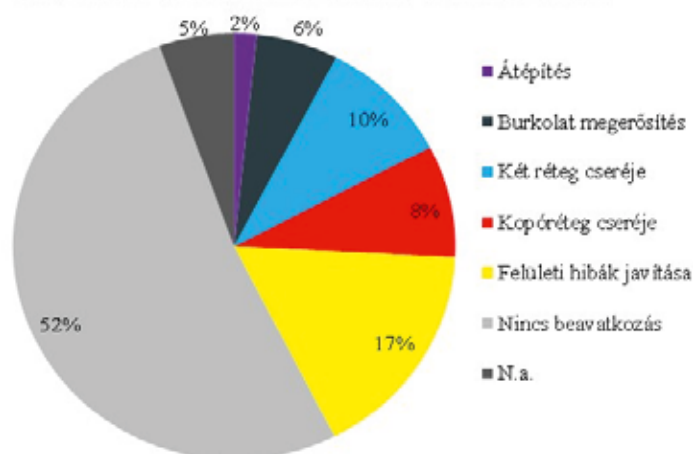
6. Budapest Közút nagyfelületű útfelújításai során jellemzően alkalmazott aszfalt típusai, jellemző rétegrendje

- 5,0 cm vtg AC 11 (mF) kopóréteg
- 7,0 cm vtg. AC 22 (F) kötőréteg

Jellemző rétegrend buszsávban, megállóban

- 5,0 cm vtg AC 11 (mF)/SMA 11 (mF) kopóréteg
- 7,0 cm vtg. AC 22 kötő kötőréteg
- 7,0 cm vtg. AC 22 kötő alapréteg

Javasolt beavatkozások a hálózaton



2021-ben jellemzően felhasznált aszfalt típusok	Aszfalt típusok felhasználása Főváros belterületén (m2)
AC 11 kopó	82 714
(F és mF)	
AC 22 kötő	82 714
(F és mF)	
AC 22 kötő alapréteggént (buszmegállók, buszsávok)	6 915
SMA 11 (buszmegállók)	1758

7. Az önvezető járművek térinformatikai támogatása (EUREKA)

Az Osztrák-Magyar EUREKA pályázat célja az automatizált vezetés határokon átnyúló tesztelésével kapcsolatos közös kutatási és fejlesztési projektek támogatására, amelyek eredményeként innovatív termékek és alkalmazások jönnek létre. A projektek keretében fejlesztett megoldásoknak erős piaci potenciállal kell rendelkeznie Ausztria és Magyarország számára. Cél egy olyan központi rendszer kialakítása mely segíti az automatizált járművek tesztelését és működtetését.

A Budapest Közút konzorciumi partnerként részt vesz az EUREKA program K+F projektjében, melynek célja egy központi rendszer kialakítása automatizált járművek teszteléséhez. Autóipari szereplőkkel együttműködve a Budapest Közút felhasználva a KARESZ térképezési tapasztalatait, az önvezetés számára értelmezhető digitális környezetet állít elő. Az előállított nagy felbontású térképek (UHD) segítségével támogatjuk a közlekedési helyzetek értelmezhetőségét az önvezetés számára.

További feladata, az Infrastrukturális és jármű szenzorok központi rendszerbe való integrálása, nemzetközi autóipari szabványok implementálása, valós idejű, digitális környezeti adatok szolgáltatása a modellezéshez önvezető autók számára.

Projekt keretében olyan technológiai eljárások kidolgozása történne meg, amely a társaság adatgyűjtési- és adatfeldolgozási csoportok munkafolyamatain túl a forgalomtechnikai kezelői és nyilvántartási feladataihoz is kapcsolódik.

A Budapest Közút HD térkép szolgáltatóvá válhat, illetve a pontfelhő alapú adatgyűjtési folyamatait automatizált megoldásokkal támogathatja.

Projekt résztvevők: Zalazone projekt (ITM-BME-Közút), Magyar Közút, BME, Joanneum Research, Bimfra Kft., Porsche Hungária, járműipari szereplők

Temperált útszakaszok a duraBASt-nál

Dipl.-Ing. Gudrun Golkowski



Federal Highway Research Institute (BASt)
Section S7

BEVEZETÉS

A jövőre nézve jól megjósolhatóak a globális éghajlat és így a mikroklima változásai. Ezt szélsőséges csapadékviszonyok, nyáron magasabb hőmérséklet, télen gyakoribb fagyok kísérik majd. Az utak teljesítményét erősen befolyásolják az éghajlati viszonyok. Ha a burkolat szerkezet hőmérsékleti tartományát 3°C és 35°C közé tudnánk korlátozni fűtő-hűtő rendszerrel a burkolatban, jelentősen meg tudnánk növelni annak az élettartamát.

Ez a szempont állt a középpontban a bemutatott projektben, amelynek célja egy temperált út felügyelt tesztszakaszainak működtetése a Szövetségi Autópálya-kutató Intézet (BASt) új teszterületén, az új „demonstrációs vizsgálati és referenciaterületen”, a duraBASt néven. Ez a tesztelőhely valóság-hű tesztek tesztelését lehetővé teszi 1:1 méretarányban. Építőanyag-keverékeket, építési módokat vagy építési eljárásokat, innovatív építési típusokat vizsgálnak. Az új technológiák bemutatása reális körülmények között valósítható meg és tanulmányozható. A tesztszakaszok emellett egy gyorsított terhelésvizsgáló berendezéssel is terhelhetők, így a tartósságukat tesztelték.

A projekt keretein belül a különböző burkolati hőmérséklet-szabályozó rendszerek (fűtési és hűtési üzemi) hatásmódját és hatékonyságát vizsgálják különböző tesztszakaszokon. Ennek alapján dolgozzák ki a hőmérséklet-szabályozás és az energiaellátó rendszer vonatkozó pa-

ramétereit. Továbbá részletes adatelemzés alapján levezetik a hőmérséklet-szabályozott útburkolatok méretezésének paramétereit. Ezek a megállapítások képezik az alapot a temperált utak méretezési elveinek kidolgozásához.

Különös figyelmet fordítanak az innovatív, poliuretán kötésű porózus közbenső rétegek használatára, amelyekre jellemző a nagyon magas hézagtartalom és ezáltal az egymással összefüggő üregrendszer, hogy a folyadék átáramoljon magán a rétegen. Maga a réteg az útburkolat hőmérsékletének szabályozására szolgáló rendszerként szolgál.

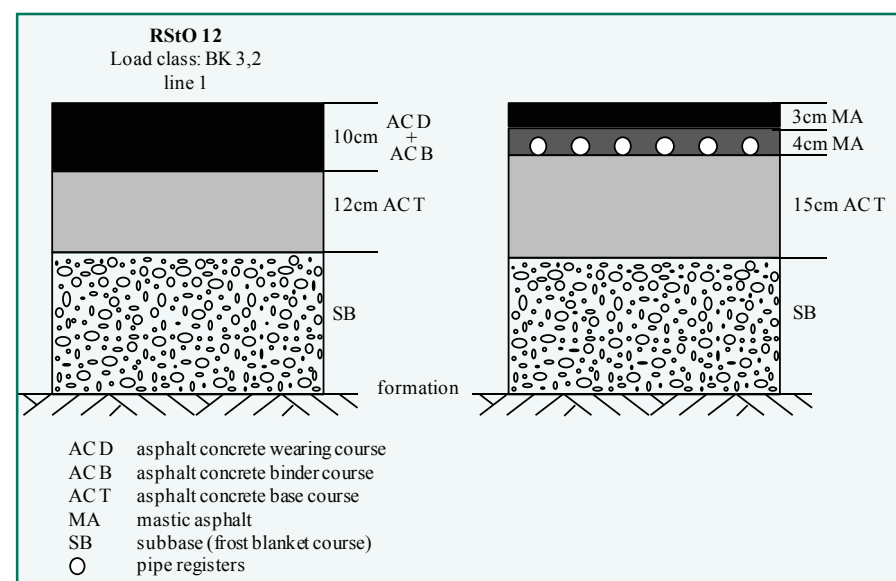
Az összehasonlító vizsgálatokhoz innovatív poliuretán kötésű porózus közbenső rétegekkel ellátott szakaszokat, valamint csőregiszterekkel ellátott szakaszokat kellett beépíteni. A duraBASt temperált burkolat szakaszok teljes hossza 50 m. Ez a hossz öt különböző temperált útszerkezeti szakaszra oszlik. Ezek közül kettő csőregiszterekkel van felszerelve az útfelület temperálására. A másik három szakaszt innovatív, poliuretán kötésű porózus közbenső rétegekkel építették meg, amelyek lehetővé teszik a folyadék átáramlását az útfelület hőmérsékletének szabályozása érdekében.

A burkolat tervezése a közlekedési területek burkolatszerkezeteinek szabványosítására vonatkozó német irányelveket (RStO 12) követi [3]. A szakaszok 3,2 millió 10 egyenértékű tengelyáthaladásnak (Bk 3,2 terhelési osztály) megfelelő tervezési forgalomhoz vannak hozzárendelve.

Tesztszakaszok temperált utakhoz

A temperált utak különböző próbaszakaszait tartóréteggént 15 cm-es aszfalt alaprétegre fektetik le. A további felépítmény a temperáló rendszer típusától függően változik.

Két szakasz csőregiszterekkel van felszerelve. A csőregisztereket közvetlenül az aszfalt alaprétegre fektetik le, és egy 4 cm vastag öntött aszfalt kötőréteg és egy 3,5 cm vastag öntött aszfalt kopóréteg borítja (lásd 1. ábra). Két különböző mintát alkalmaznak a csőregiszterek az aszfalt alaprétegen történő lefektetésére. Először a csövet egycsöves rendszerként szerpentin vonalakban fektetik le, másodszor a csövet spirálisan fektetik le kétsöves rendszerben (lásd 2. ábra).



1. ábra: RStO 12 szerinti csőregiszteres járdaépítés tervezése [3]



2. ábra: a csőregiszterek elrendezése spirális és szerpentin mintázatban

A spirális fektetésnél a meleg cső mindig a hideg cső mellett van, amiről azt feltételezzük, hogy a rendszer jobb és homogénebb termikus tulajdonságait eredményezi.

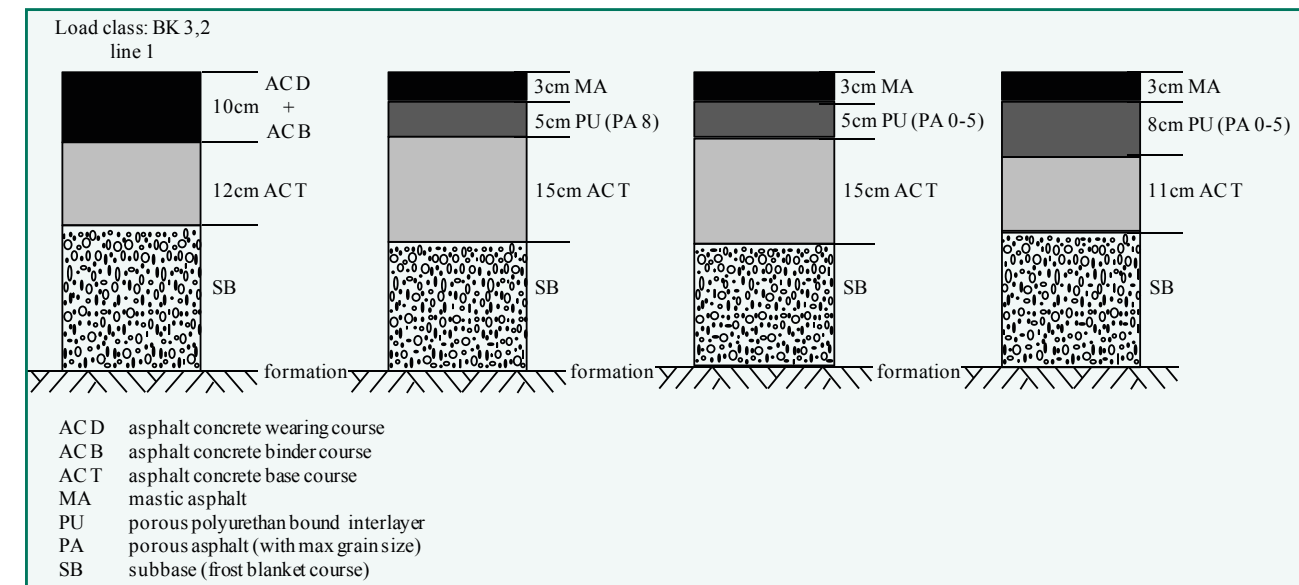
A másik három szakaszon az innovatív poliuretán kötésű porózus közbenső rétegek különböző vastagságban és különböző rétegkeverékekkel kerültek beépítésre. Az innovatív porózus közbenső rétegek nagy, 32% és 38% közötti hézagtartalommal készülnek. Az ötlet mögött az áll, hogy a folyadék átfolyik a rétegen, és nincs szükség extra elemekre (például csőregiszterekre) a folyadék elosztására az útfelület fűtése és hűtése érdekében.

A poliuretán (PU)-a folyadék átfolyásának kedvezőbb ellenállása érdekében- bitumen helyett kötőanyagként használják (lásd 4. ábra). A három változat különbözik a porózus közbenső réteghez használt keverékben.

Az első esetben a keverék szemcseméret-eloszlását alkalmazzák legfeljebb 8 mm-es szemcseméretben, mint a porózus aszfaltnál (PA 8). A második és harmadik keverék szemcseméret-eloszlását 5 mm-ben maximálták a (PA 0-5) porózus aszfalthoz hasonlóan.

A porózus közbenső réteghez való PA 0-5 keverékű két változat két különböző, 5 cm-es és 8 cm-es vastagságban készült.

Ezeket a változatokat (lásd a 3. ábrát) azért választottuk, hogy egyrészt megvizsgáljuk a különböző keverékek és annak eltérő hézagtartalmának hatását, másrészt az eltérő rétegvastagság hatását a fűtés és hűtés hatására.



3. ábra: RStO 12-t követő porózus közbenső rétegű burkolat építés tervezése [3]



4. ábra: a poliuretán kötésű porózus közbenső réteg és a temperáló folyadék kivezető nyílásai

Mivel a csőregiszterekkel ellátott fűtő- és hűtési rendszerrel ellátott temperált utak már az úthálózat egy pontján korábban megvalósultak, ezek a szakaszok referencia

szakaszoknak minősülnek a fűtési és hűtési rendszer értékeléséhez az innovatív, poliuretán kötésű porózus közbenső rétegek vizsgálatához, amelyeket a másik három felületen is megvalósítottak, mint teszt szakaszokat.

Energiarendszer

A temperált út fűtési és hűtési rendszerének energiaellátására hőcserélőket használnak. A kísérleti helyszín peremfeltételeinek részletes tanulmányozása alapján szimulációs modell segítségével megterveztük az energetikai rendszert. A rendszer működését az időjárási adatok, a talajhőmérséklet, valamint a rendszer szabályozási paramétereinek figyelembevételével szimuláltuk. A különböző paramétervariációk elemzése a rendszer különböző részeire különböző követelményeket és előírásokat eredményezett. A szimuláció azt mutatja, hogy a tervezett energiarendszerrel stabil útfelületi hőmérséklet érhető el. Ennek ellenére nem minden hőmérsékletcsúcs ellensúlyozható közvetlenül. A temperált út minden szakaszát külön-külön szabályozzák.

A választott energiarendszer figyelembe veszi a fenn tartható szempontokat annak érdekében, hogy minimalizálja a fosszilis energiaforrások felhasználását a burkolat szerkezetek fűtéséhez és hűtéséhez.

Az energiaellátó rendszer különböző típusú érzékelőkkel van felszerelve a rendszer teljesítményének, valamint a fűtési és hűtési folyamat működéséhez szükséges adatok figyelésére, hogy bemenő adatokat kaphasson az energiaellátás modellezéséhez és a vonatkozó paraméterek származtatásához. a szükséges energetikai rendszer elrendezésének kialakításához. Ezért minden szakaszon különböző mérőeszközöket kell beépíteni az energiarendszerbe az áramlási mennyiségek, az energiarendszer különböző pontjain lévő hőmérsékletek, az energiafogyasztás stb. mérésére.

Monitoring koncepció

A temperált utak energiaellátó rendszerének hatékonyságának értékelésére, valamint a különböző útfűtési/hűtési rendszerek hatékonyságának felmérésére a szakaszokat különböző típusú mérőeszközökkel látják el.

Az energiarendszer fel van szerelve mérőkkel a folyadék áramlási mennyiségének, a hőáram mennyiségének, a rendszer különböző pontjain lévő nyomásának figyelésére, valamint hőmérséklet-érzékelőkkel.

A különböző típusú érzékelők mellett, amelyek az energiarendszer teljesítményét figyelik, egy kis meteorológiai állomás is található a tesztszakaszok közelében.

Magában az útépítésben a hőmérséklet-érzékelőket különböző magasságokban és különböző pontokon szerelik fel a kereszt- és hosszmetseteken belül (lásd 5. ábra).

Az 1. szakaszban a csavarvonalas csőregisztereknél a hőmérséklet-érzékelők a csőregiszter be-/kimenetéhez közel és a középső fordulópontnál, valamint két további helyen vannak beépítve, hogy a folyadék hőmérsékletét figyeljék a hőmérséklet és acsóhosszak függvényében. A hosszmetset két mérési pontján három különböző magasságban figyelik a hőmérsékletet: a felső aszfaltretek tetején és alján, valamint a legalacsonyabbat a regiszterek között.

A keresztmetsetben az érzékelők a regiszterek (meleg és hideg regiszterek egymás melletti) hőmérsékletét, valamint az aszfalt kopóréteg tetején mérik a hőmérsékletet. Ez összesen 12 hőmérséklet-érzékelőhöz vezet.

A 2. szakaszban a szerpentin csőregiszterekkel az érzékelők a regiszterek mentén is figyelik a hőmérsékletet, két mérési ponton három különböző magasságban mérik

a hőmérsékletet a felső aszfaltretek határán (a korábbiak szerint) további két ponton az érzékelőket közvetlenül a cső alá kell helyezve, hogy figyelje annak hőmérsékletét, valamint az aszfalt felületén. Tehát összesen 10 érzékelőt helyeztek el a 2. szekcióban.

A 3-5 szekciókban kétszer három érzékelőt helyeznek el a felső aszfaltretek határainál a folyadék porózus közbenső rétegekbe való bemenetének oldalánál. Szintén kétszer három érzékelőt helyeznek el három különböző magasságban (alul és tetején) a porózus közbenső rétegek és az aszfaltfelület tetejé a porózus közbenső réteg kimeneti oldalán. Ez 12 hőmérséklet-érzékelőnek felel meg mindhárom szakaszban, porózus közbenső rétegek vizsgálata érdekében.

Ezenkívül egy referencia szakasz kétszer három különböző magasságú érzékelővel van felszerelve. Két mérési pont van kiválasztva, hogy referencia hőmérsékleteket kapjunk egy szabványos aszfaltszerkezetben, fűtési/hűtési rendszer nélkül, azonos peremfeltételek mellett.

A mérés fontos pontja az energiarendszer és a temperált útszakasz rendszerek közötti átmeneti pont, az útépítésben a hőmérsékleti berendezések be- és kimenetei.

Minden adatot 15 percenként rögzítenek kvázi folyamatos mérésként. Ezeket az adatokat egy szoftver elemzi, hogy megkapja a releváns paramétereket az energiarendszer automatikus vezérléséhez (fűtés/hűtés). A szoftver eszköz a projekten belüli optimalizálási munka része.

Összefoglalás

Az éghajlatváltozás hatásait ma már mindenki érzi, és új megközelítésekre és technológiákra van szükség az infrastruktúra adaptálásához. Ez a projekt a hálózat speciális pontjain lévő utakra összpontosít, amelyek speciális (ext-

rém) éghajlati viszonyoknak vannak kitéve. Az útburkolatok hőmérséklet-függésének jobb szabályozása érdekében a különböző típusú hőmérséklet-szabályozással (csőregiszterekkel szemben az innovatív, poliuretán kötésű porózus közbenső rétegekkel) temperált útszakaszokat duraBASt-en tesztelik. A részletes szenzorkonfiguráció célja az energiarendszer teljesítményének és a burolat felületek hőmérsékletére gyakorolt hatásának nyomon követése. A cél az, hogy a burkolat szerkezet hőmérsékleti tartományát 3°C és 35°C közöttre korlátozzák. ami jelentősen megnöveli a járda élettartamát.

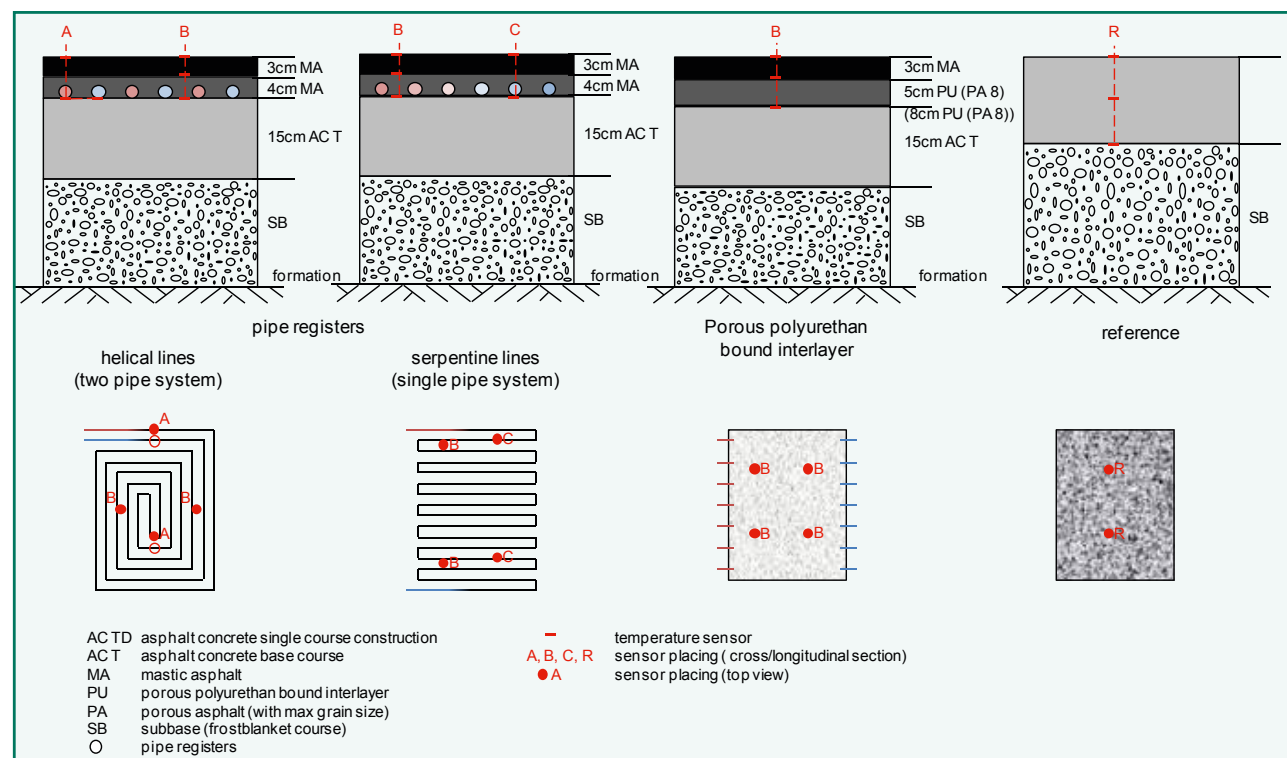
Ez a projekt értékes és egyszerű eredményekhez vezet a temperált burkolatszakaszok üzemeltetésének és ellenőrzésének hatékonyságát, valamint tervezési követelményeit illetően.

Elismerés

A dolgozatban bemutatott temperált utak tesztszakaszainak koncepciója elsősorban a Hess, Kröber, Schulz és munkatársai által végzett „Temperierte Straße – Machbarkeitsstudie” [1] kutatási projektek eredményein alapul. és a „Temperierte Straße – Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBASt” [2], amelyet Oeser, Kneer, Hess és társai hajtottak végre. A „Temperierte Straße – Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBASt” [4] projektet jelenleg egy konzorcium hajtja végre, amelyet a duraBASt vezet. A Durth Roos Consulting GmbH az isac Forschung gGmbH-val és az Eurovia Teerbau GmbH-val együtt (lásd a referenciákat). Ezeket a projekteket a Szövetségi Autópálya Kutatóintézet (BASt) kezdeményezte, a Szövetségi Digitális és Közlekedési Minisztérium (BMDV) támogatásával. Az adminisztrációs folyamatot és a műszaki felügyeletet a BMDV megbízásából a BASt végzi.

Szakirodalom

- [1] M. Oeser, R. Kneer, R. Hess, et al. Temperierte Straße – Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBASt, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau Heft S132, 2019, 48S., ISBN978-3-95606-449-4
- [2] R. Hess, V. Kröber, T. Schulz, et al, Temperierte Straße – Machbarkeitsstudie, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1102, 2019, 96 S., ISBN 978-3-95606-040-3
- [3] FGSV, RStO 12 – Guidelines for the standardization of pavement structures of traffic areas, Edition 2012/ Translation 2015, FGSV-Nr. 499 E PDF, 2015, 56 S., ISBN 978-3-86446-021-0 (German Version)
- [4] Hess, Lohmeier, Zobel, Meisner, Lebel, Kemper, Renken, Carreno et al – Pilotanwendung einer temperierten Straße auf dem duraBASt, 2. Zwischenbericht zu FE 04.0325/2018/MRB, 2021, (not published)



5. ábra: érzékelő elhelyezése különböző metszetekben keresztmetszetben és felülnézetben

Hideg és alacsony zajszintű aszfalt

Xavier Carbonneau

Expert - Project manager
COLAS France



Az Európai Unió támogatásával valósult meg a „Hideg és alacsony zajszintű aszfalt” című projekt, amelynek teljes költsége 2,4 millió euró volt. A projekt helyszíne Párizs városa volt, amely az EU Life Program keretében vizsgálta a speciális burkolatok építését és azok hatását. A cél az volt, hogy olyan karbantartások során építhető új kopóréteg típusokatt tervezzenek és építsenek, amelyek javítják az városi lakosok életminőségét és mérséklék a „hősziget-hatást”. A hagyományos aszfaltretekhez képest +10%-ban korlátozták a többletköltségeket (párizsi viszonylatban), ugyanakkor pedig megnövelték a tartóssággal szembeni elvárásokat a hagyományos kopórétegekhez képest. A projekt célja 3°C-os hőmérséklet csökkentés az UTCI skála szerinti referenciaértékhez képest és 3 dB zajcsökkentés az út környezetében álló épületek előtt, amely 2 év elteltével is még legalább 2 dB zajcsökkenést mutat a referencia értékhez képest.

A siker érdekében több partner is részt vett a projektben: Párizs város mellett, a Bruitparif, egy a zajméréssel foglalkozó nonprofit szervezet, valamint az Eurovia és a Colas, mint kivitelezők. A gördülési zaj mérését és értékelését a LEM (Párizs tartomány laboratóriuma), az épületek előtti zaj mérést pedig a Bruitparif végezte. A hőmérsékletméréseket és azok kiértékelését a LEM és egy városökológiai ügynökség, a LIED (a Párizsi Diderot Egyetem Holnap Energiáinak Laboratóriuma) munkatársai végezték. Ezen célok elérése érdekében különböző megközelítések kerül-

tek szóba. Sajátos tulajdonságaikról ismert három lehetséges megoldást alkalmaztak, hogy valamennyi jellemző tekintetében kompromisszumos javulást érjenek el.

A projekt során vizsgált aszfaltkeverékek a következők voltak:

- nagyon vékony AC keverék (BBPhon),
- SMAPhon,
- Öntött aszfalt (PUMA),
- referencia keverék: Rugoflex BBMA 0/10.

A hőelnyelés és a keverékek hőmérsékletének napsütéses időben történő korlátozása érdekében a fényvisszaverő képességet az átlátszó adalékanyag növelte az SMA és a nagyon vékony aszfaltkeverékek esetén. A zajcsökkentést a hézagtartalom optimalizálásával sikerült elérni.

A nagyon vékony aszfaltkeverékek általában nagy hézagtartalommal épülnek, ami csökkentheti a tartósságot. A BBPhon keverékben kissé csökkentették a hézagtartalmat, hogy javítsák annak tartósságát. Az SMA keverékek jól ismertek tartósságukról, de zajcsökkentő hatásuk korlátozott. A kiválasztott keverékben megnövelték ezt a zajcsökkentő hatást a tartósság csökkenése nélkül. Az öntöttaszfalt keverékben porózus felületű adalékanyagokat alkalmaztak.

A laboratóriumi munka végétől Párizsban három próbaszakaszt építettek és 3 éven keresztül figyelték ezeket, hogy valós körülmények között nyerjenek adatokat azok jellemzőiről. Az összes próbaszakaszra meteorológiai állomásokot is telepítettek. Kánikula esetén az burkolatlocsolás hatását is vizsgálták hőmérsékletmérésekkel. A locsolás nyáron történt, amikor a helyszínen magas hőmérsékletet mértek.

A fő következtetések, hogy a keverékek a mai napig is jól teljesítenek. A zajcsökkentés három év elteltével is a küszöbértékekben belül van, még akkor is, ha ez a teljesítmény enyhén csökkenő jelleget mutat. Ennek oka lehet a

keverékek esetleges eltömődése a városokban előforduló porszenyezés miatt. A karbantartási megoldásként mérlegelik a nagy nyomású felületi tisztítás lehetőségét. A fényvisszaverődés hatása korlátozottan tűnik, de a locsolás jelentősen csökkentheti a burkolati hőmérsékletet.

Ezen eredmények alapján a megfigyeléseket további 5 évig folytatják. Ezen megoldások előnyeit társadalmi-gazdasági elemzéssel értékelik, beleértve a lakossági visszajelzéseket is. A kísérlet során vizsgált és alkalmazott aszfaltkeverékeket Párizs több utcájában alkalmazták már, eddig összesen 50 000 m²-en. További városokat is szándékoznak bevonni hasonló innovációs kutatási projektekbe.



	Frémicourt		Lecourbe				Courcelles			
	Innovative		Innovative		Reference		Innovative		Reference	
	Ta	UTCI	Ta	UTCI	Ta	UTCI	Ta	UTCI	Ta	UTCI
Max effect (1.5 m)	-1.6 °C	-3.6 °C	-1.6°C	/	-1.1°C	-3.7°C	-1.2°C	-3.3°C	-1.5°C	/
Mean effect (1.5 m)	-0.7 °C	-1 °C	-0.6°C	/	-0.4°C	-0.4°C	-0.6°C	-0.9°C	-0.8°C	/





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)

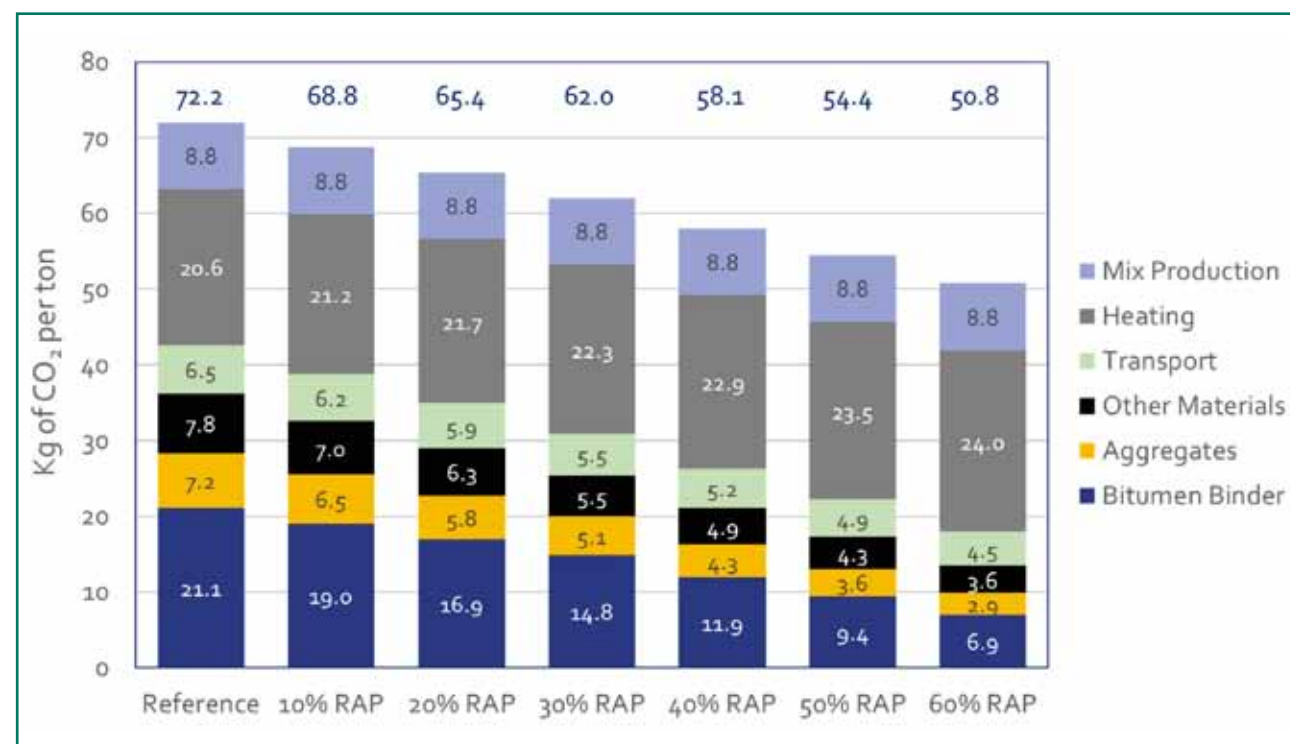
Mivel az utak napfénynek, nedvességnek és hőmérsékletnek vannak kitéve, az aszfaltkeverékben lévő bitumen oxidálódik és elveszti kötő tulajdonságait. Az úttest állapota idővel romlik, ami repedéseket, és fáradási hibákat eredményez. A sérült utak javításakor regenerált aszfaltburkolat (RAP) keletkezik. 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.



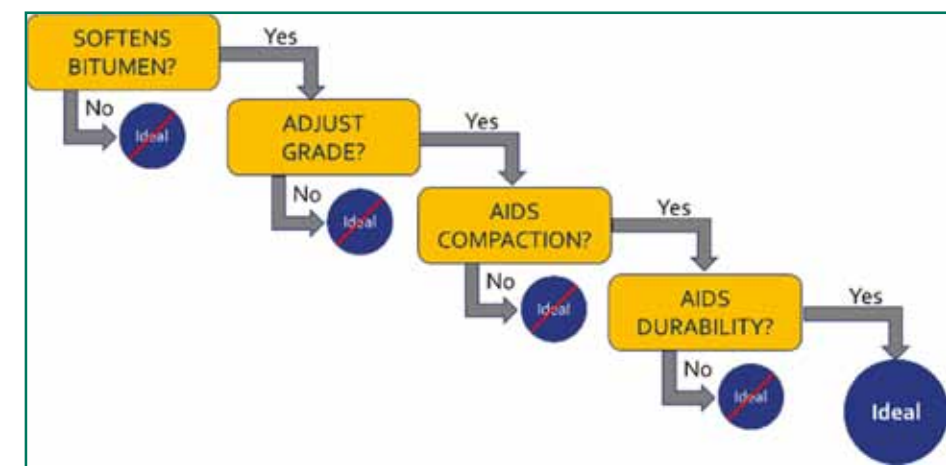
1. ábra: A RAP használatának hatása az üvegházhatású gázok kibocsátására [1]

Az ideális RAP rejuvenátor jellemzői

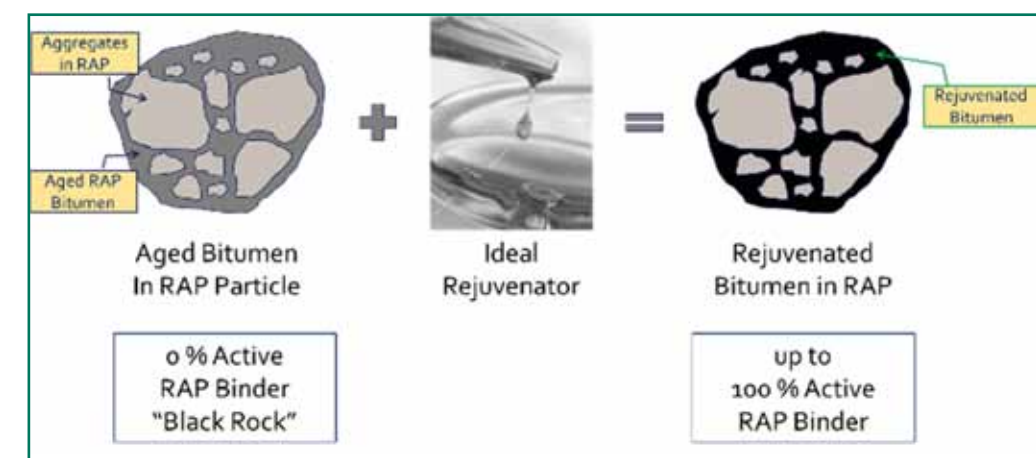
Ahogy a 2. ábrán látható, egy ideális fiatalító lágyítja a bitumént, beállítja a bitumen tulajdonságait, elősegíti az aszfaltkeverék bedolgozhatóságát és kompatibilitását, valamint biztosítja a szükséges úttesti teljesítményt és tartósságot. A 3. ábra vázlatosan mutatja be, hogyan működik egy ideális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

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 %

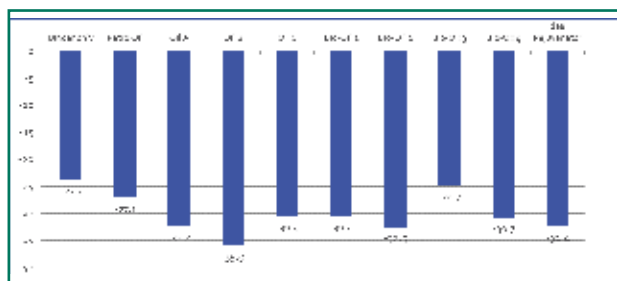
A magas RAP-tartalmú kátyúzó keverékek használatának fő előnye, hogy több RAP-t használhatunk fel, és csökkenthetjük a hulladéklerakóba kerülő RAP mennyiségét. Ezek a használatra kész karbantartási technikák könnyen gyárthatók, könnyen használhatók, és általános költségmegtakarítást eredményezhetnek.

Hatás a közúti teljesítményre és tartósságra

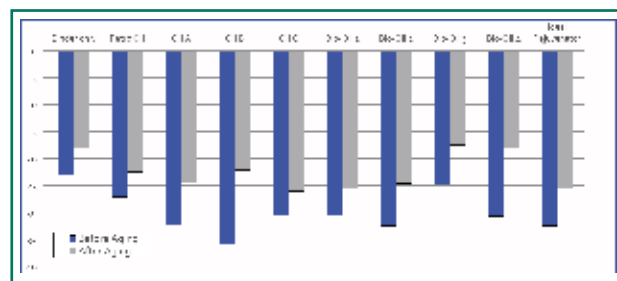
Az életképes rejuvenátor kifejlesztésének korai szakaszában felfedezték, hogy jelentős eltérések vannak a különböző forrásokból származó és ugyanazon RAP-halmon belüli RAP minőségében és jellemzőiben. Ennek az aggálynak a megoldására a Wisconsin Egyetem Modifikált Aszfaltkutató Központja (MARC) kifejlesztett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

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				



(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.

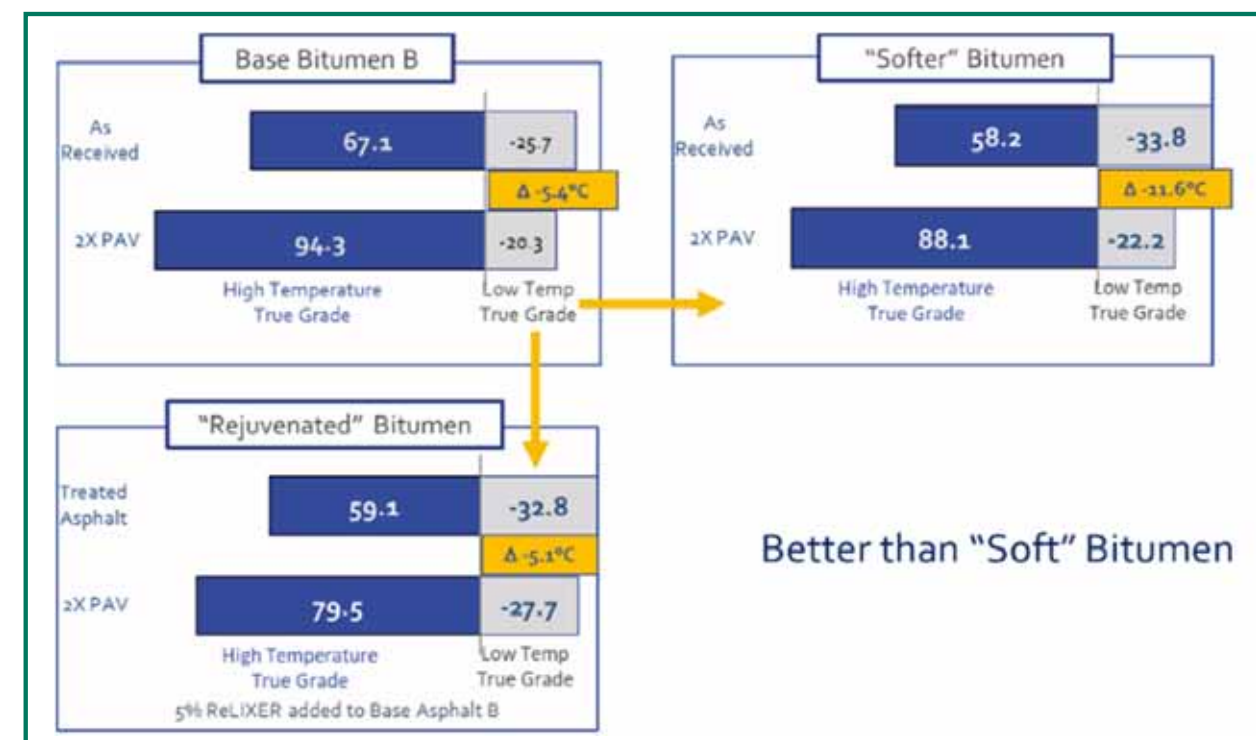
A 8. táblázat két magas RAP-keverék, (25% RAP és 50% RAP) kopóréteggént való elhelyezésén alapuló eredményeket foglalja össze az USA-ban. A 25%-os RAP Mix tonnánként 0,5 kg ReLIXER-t és 3,4% szűz bitumént, PG 64-22 tartalmazott. Az 50%-os RAP Mix tonnánként 1 kg ReLIXER-t és 2,4% szűz bitumént tartalmazott. 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.

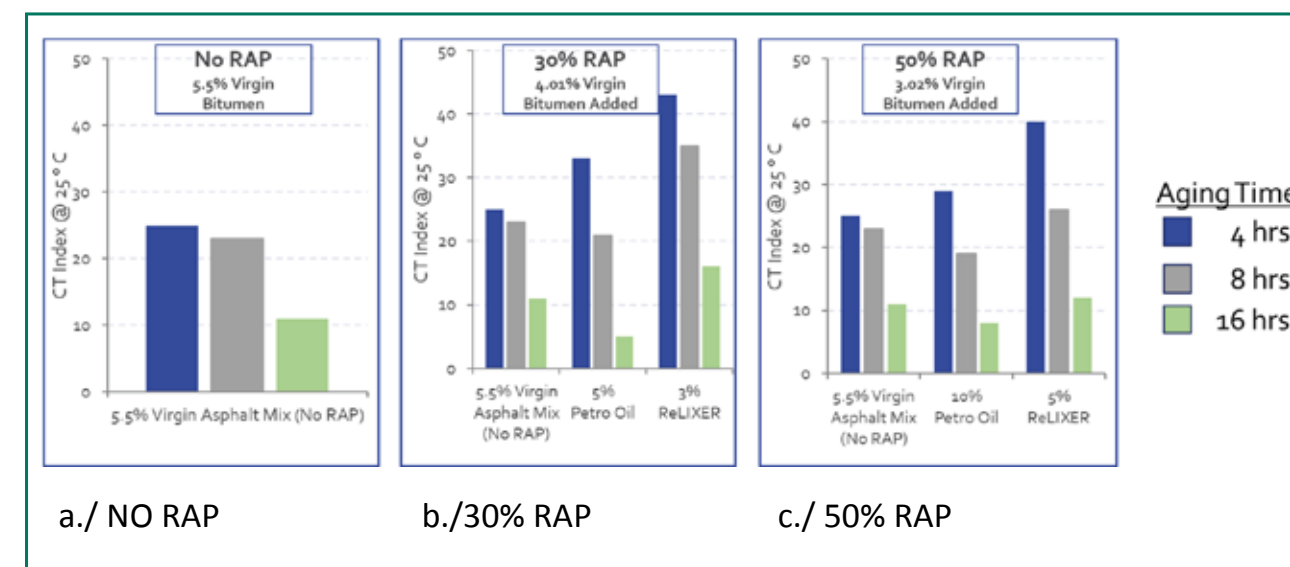


6. ábra: Öregedési viselkedés: „Bitumen + ReLIXER” vs. „Lágy” bitumen

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

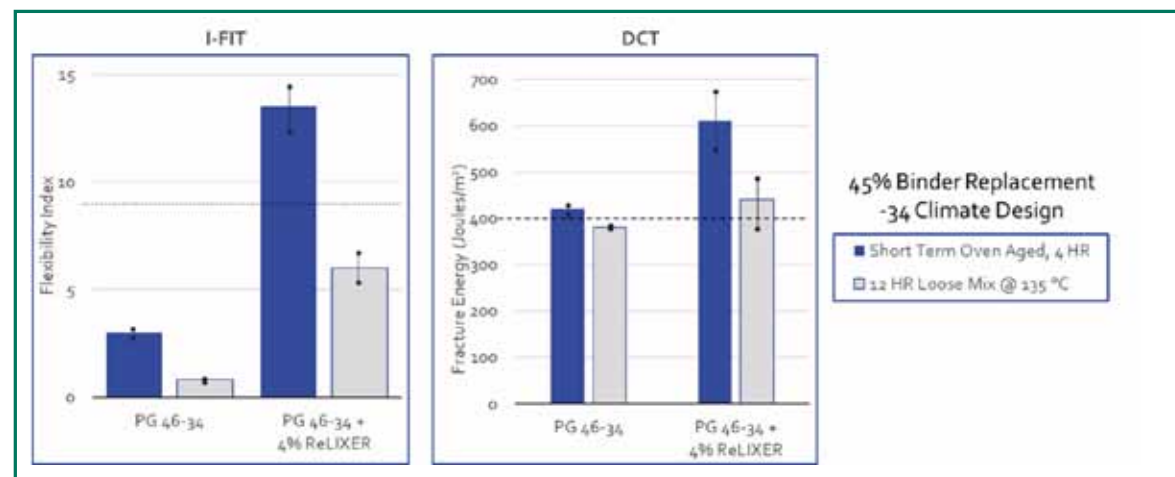
A RAP nélküli, 30 % RAP és 50 % RAP keverékek ideális CT indexét a laza keverékű szárító kemencében 4, 8 és 16 órás öregítési időkhöz hasonlították össze.

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.

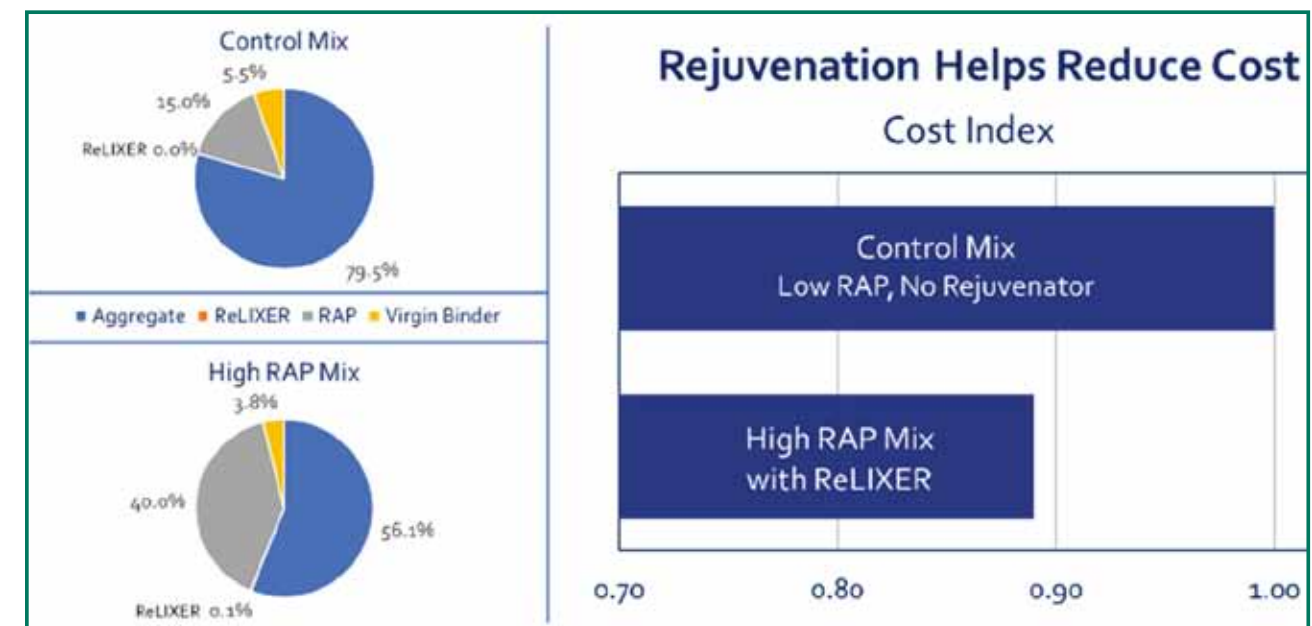


8. ábra: Út pálya törési szilárdsági tulajdonságai magas RAP + ReLIXER mellett közepes forgalmi körülmények között

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.

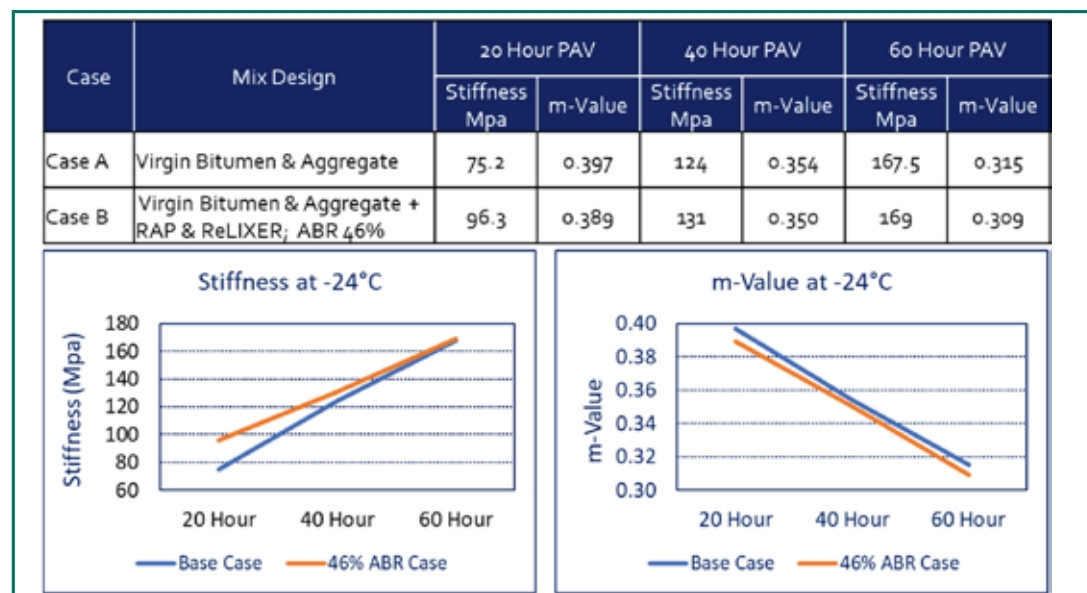


10. ábra: Keverési költség csökkentése ReLIXER-rel

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.

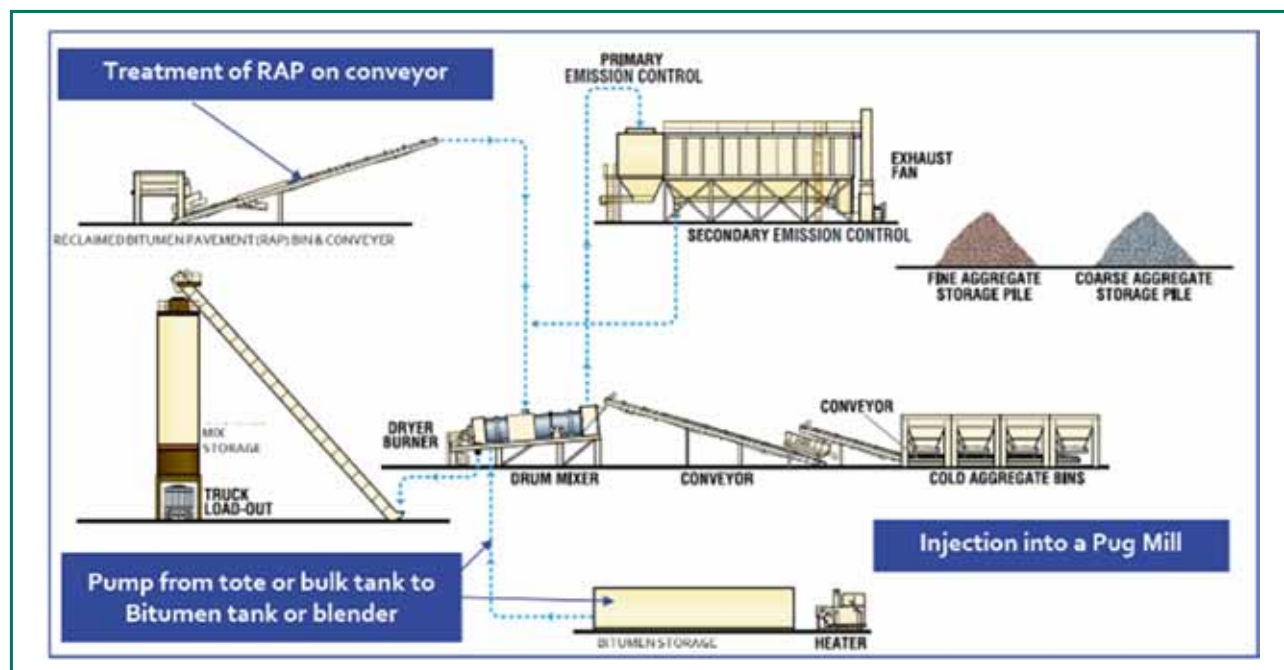
Ügyelni kell arra, hogy minimálisra csökkentsük a por mennyiségét a RAP-ban, és gondoskodjunk a megfelelő halmazállapotról. Gyakran szükséges a RAP előmelegítése a maximális működési hatékonyság és a keverék magasabb RAP-tartalmának elérése érdekében. A RAP nedvességtartalmát figyelni kell, és minimálisra 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 elemezzék 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.

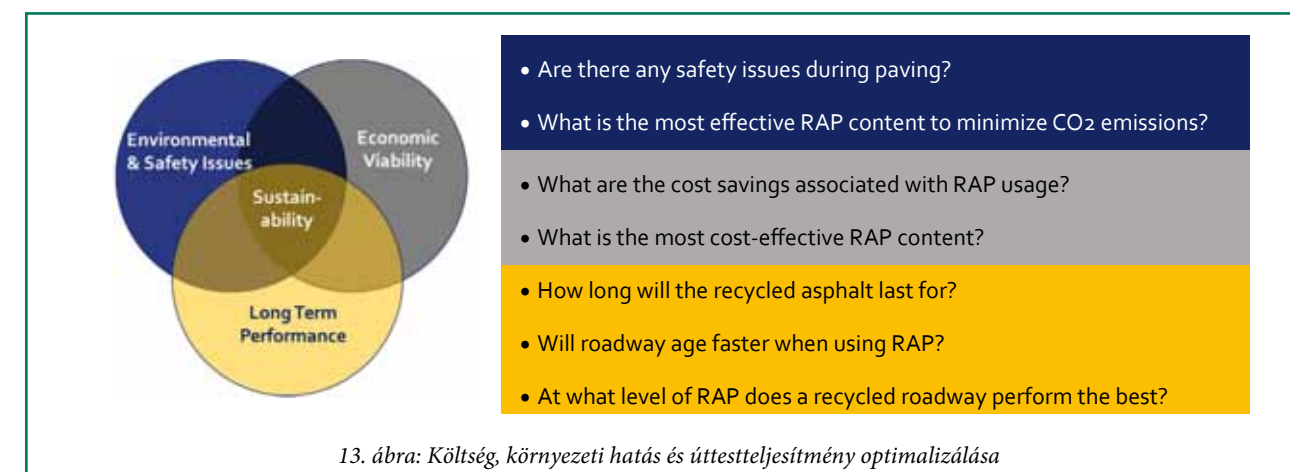
A 12. ábra különböző lehetőségeket mutat be arra vonatkozóan, hogyan lehet a ReLIXER-t beépíteni egy meglévő üzemi működésbe. A ReLIXER alacsony viszkozitású, és a legtöbb körülmény között szabadon folyik. Ezenkívül befeckendezhető a bitumen betápláló vezetékbe, keverhető bitumen ömlesztett tartályokba, 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 Bahia 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/txdotinfo/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&xsrf>

***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-/nedvességekárosodással 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. Bahia, 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>.

HAPA tanulmányút Olaszországba az AMMANN Italy gyárába, 2022 május 8-10 között.



A Warm Mix koncepciók optimalizálása kombinált termékekkel

Dr. Thorsten Butz, Carsten Oelkers, Dr. Knut Johannsen

Dr. Thorsten Butz

Manager Bitumen Additives
Development
Chemicals SASOL



1. Bevezetés

A Warm Mix Asphalt (WMA) olyan eljárások megjelölése, amelyek az aszfalt gyártási hőmérsékletét 100-150 °C-ra csökkentik, szemben a szabványos Hot Mix Asphalt (HMA) 140-190 °C-kal [1, 2]. A jövő egyik kulcsfontosságú technológiájának tekintik. Jelentősen hozzájárul majd a kötőanyag öregedésének csökkentéséhez a gyártásban, a keverőüzemben a kibocsátások csökkentésében és a munkahelyen dolgozók egészségének védelmében. A gyártási hőmérsékletek csökkentése során különféle technológiai problémák léphetnek fel. A friss aggregátumok adagolásakor a szárítódob csökkentett teljesítménye azt eredményezheti, hogy nedvesség marad az aggregátumokon vagy az aggregátumokban, ami zavarja a további gyártási folyamatot. Lehetséges következmények az adalékanyagok nem teljes bevonása bitumennel vagy romló burkolati viselkedés.

Az aszfalt egyébként állandó összetétele mellett a hőmérséklet csökkenése a burkolat építése során tovább csökkenti a rendelkezésre álló tömörítési időt.

A gyártási hőmérséklet csökkentésének lehetséges következményei a következők lehetnek:

- nem elegendő ásványi anyag bevonat a nedvességmentesség miatt
- az aszfaltkeverékek vízzérzékenysége a hiányos bevonat vagy a kötőanyag és az adalékanyag közötti elégtelen affinitás miatt

- csökkent tömörítési teljesítmény az alacsonyabb burkolati hőmérséklet miatt
- csökkent rétegteljesítmény a csökkent vagy elégtelen tömörítés miatt.

Korábbi vizsgálatok eltérő eredményeket mutattak az aszfaltkeverékek megnövekedett vízzérzékenységeire vonatkozóan az adalékanyagokon lévő maradék nedvesség miatt. Számos kutató beszámolt arról, hogy a WMA aggregátumainál a maradék nedvesség rossz kötést eredményezhet a kötőanyaggal, és ezért víz jelenlétében károsodást okozhat (például [3, 4]). Goh and You [5] hasonló szakítószilárdsági arány értékeket talált (víztárolás után/előtt) FT-viasszal módosított csökkentett hőmérsékletű keveréknél, mint a normál meleg aszfalt esetén. Ezenkívül egy másik tanulmány [6] nem talált különbséget a WMA és a HMA között a nedvesség okozta károk tekintetében a benyújtott tesztekben. Ez a tisztázatlan helyzet egy kiterjedt National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) kutatási projektet indított el az USA-ban [7]. Arra a következtetésre jutottunk, hogy bár a vízzérzékenységet a terepen nem figyelték meg, ezt laboratóriumi vizsgálatok egyértelműen igazolták, keverőüzemekből származó aszfaltkeverék mintákkal is. Mészhidrát vagy kémiai tapadást elősegítő anyagok hozzáadása sikeresen javította a vízzérzékenységet. Ezért az ilyen adalékanyagok hozzáadása minden WMA burkolathoz javasolt.

2. A kombinált termék koncepciója

A hagyományos melegkeverési eljárások a gyártási hőmérséklet csökkentésének lehetséges következményeit próbálják kifejezetten kezelni, az egyes műszaki szempontokat néha eltérően kezelik [1].

A tipikus technológiák az

- viszkozitáscsökkentő adalékok vagy csökkentett viszkozitású kötőanyagok használata (általában viasz használatával)
- bitumenes habosítási technológiák vagy zeolitok
- kémiai adalékok (többnyire felületaktív anyagok, tapadást elősegítő anyagokként is használják)

A technikai fejlesztés célja jelen esetben egy olyan kombinációs termék koncepciója volt, amely egyszerre két fő célt szolgál:

- a kötőanyag és az adalékanyag közötti affinitás jelentős javulása nedvesség jelenlétében és
- a tömöríthetőség jelentős javulása csökkentett burkolati hőmérséklet mellett.

A kombinált termék alapvető komponensei a Sasobit Redux kereskedelmi néven [3] kőolaj alapú komponenssel módosított Fischer-Tropsch viasz és egy tapadásfokozóként használható anyag. Mindkét terméket laboratóriumi méretekben kombinálták a Sasobit Redux A kombinált termékkel (továbbiakban „módosított FT wax”), így egyetlen komponens állt rendelkezésre. Az adagolás közvetlenül a felmelegített bitumenes kötőanyaghoz történik. Ebben a termék tárolási és hőstabil. A korábbi eljárásokkal ellentétben ez a kombinált termék elkerüli a kompatibilis tapadást elősegítő anyag kiválasztását, valamint a további anyagok tárolását, kezelését és helyes adagolását az aszfaltkeverő üzemben.

A termék WMA adalékanyagként való alkalmasságának bizonyítására a következő vizsgálatokat végeztük el:

- Tömörítési próbák alacsonyabb hőmérsékleten, hogy kompenzálják a lecsökkent burkolati hőmérsékletet
- Kísérletek a WMA gyártási folyamatának laboratóriumi szimulálására a megfelelő minták előállításához
- A minták víztárolása a lehetséges vízérzékenység szimulálására
- Módosított kifáradási tesztek víztárolás előtt és után a WMA technológiás és anélküli változatoknál a teljesítményjellemzők javítása érdekében

3. Tömörítési tanulmányok

A különböző adalékanyagok az aszfalt tömörítési viselkedésére gyakorolt hatásának meghatározására tömörítési kísérleteket végeztünk SMA 8 S zúzalékos masztix aszfalt három különböző kötőanyagtípussal.

Az alap egy kereskedelembe kapható polimerrel módosított PmB 25/55-55 A bitumen (továbbiakban „standard PmB”) volt a TL Bitumen [9] szerint, amely referenciaszabvány volt.

A második változatban a gyakran használt Sasobit FT-viaszt (továbbiakban „standard FT-Wax”) kevertük be 1,5 tömegszázalék kötőanyag-tömegszázalékban.

A harmadik változat az alap kötőanyagból és 1,5 tömeg%-os módosított FT viaszból állt. A zúzalékos masztix aszfalt minden változatból laboratóriumi módszerrel készült. Ezt követte három Marshall próbatest gyártása 60, 80, 100, 120 és 145 °C-os tömörítési hőmérsékleten a DIN EN 12697-30 szabvány szerint. Minden próbatestnél a térfogatsűrűséget az EN 12697-6, illetve a TP Asphalt [10, 11] szerint határoztuk meg, és a három egyedi értékből átlagot számítottunk.

Az eredményeket részletesen az 1. táblázat mutatja be, és grafikusan az 1. ábrán mutatjuk be. A standard PmB-vel ellátott referenciaváltozat a sűrűségnövekedés szokásos menetét mutatja a tömörítési hőmérséklet növekedésével. A standard FT viasz hozzáadásával készült változat a térfogatsűrűség jelentős növekedését jelzi a 120 °C és 145 °C tömörítési hőmérsékletek tartományában.

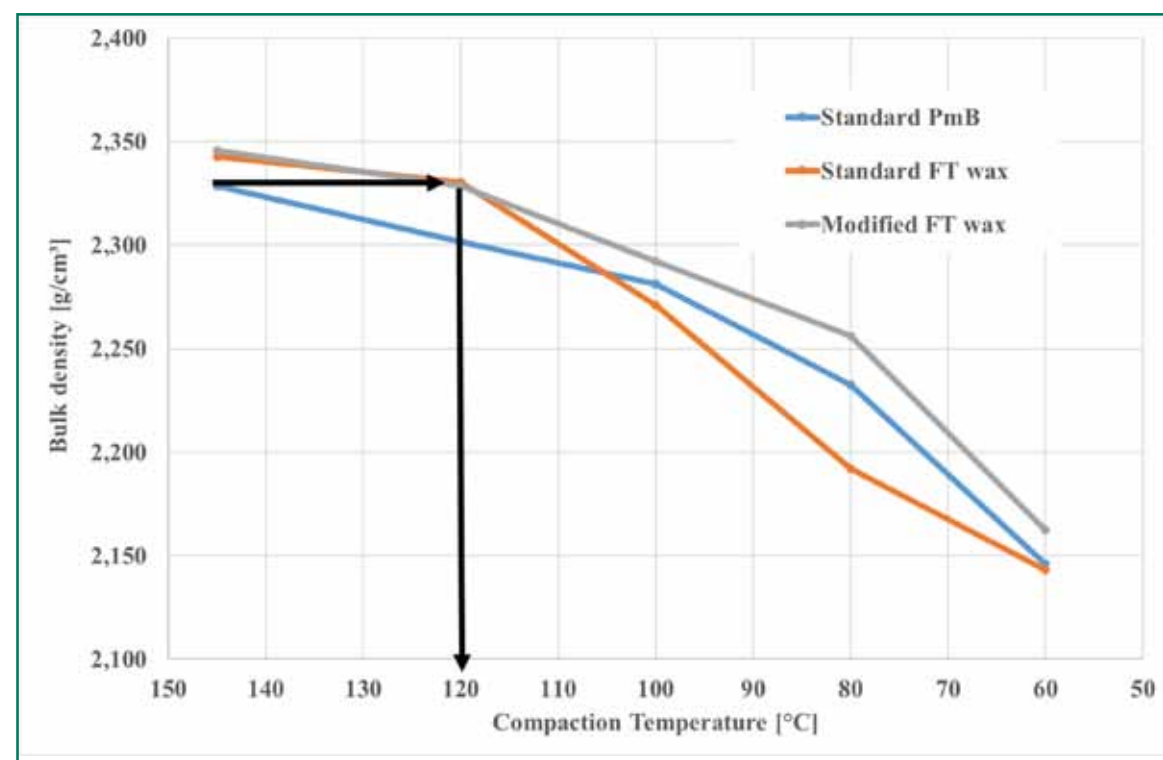
Ezen a hőmérsékleti tartományon belül a viasz cseppfolyósodik, és a laboratóriumi tömörítés során jelentősen megjavult az aszfaltkeverék tömöríthetősége, ami a térfogatsűrűség jelentős növekedéséhez vezet, ami a gyakorlatban a tömörítés mértékének növekedéséhez vezet és pozitívnak minősül. 100 °C és 80 °C hőmérsékleten azonban a referenciaváltozathoz képest kisebb térfogatsűrűséget regisztráltak a próbatestek. Ennek oka az alkalmazott standard FT viasz kristályosodási pontja alá eső hőmérséklet, ami a kötőanyag viszkozitásának jelentős növekedéséhez vezet. Ez megerősíti azt a megállapítást, hogy az FT viasszal módosított aszfaltokban a laboratóriumi tömörítési hőmérsékletnek alsó határa van. Azt, hogy a térfogatsűrűség eredménye 60 °C-os gyártási hőmérsékleten megközelítőleg azonos a referenciaváltozat eredményével, jelentéktelennek tekintendő, mivel ezen a hőmérsékleten a teljes sűrűséget túl alacsonynak kell minősíteni.

Ezzel szemben a hőmérséklet feletti tömörítési görbe a harmadik változatban a módosított FT viasszal egyértelműen eltérő. Itt a teljes hőmérséklet-tartományban változatlan tömörítési energia mellett jelentős tömörítésnövekedés következett be. 120 °C és 145 °C tömörítési hőmérsékleten megközelítőleg ugyanaz az eredmény érhető el, mint a standard FT viasszal.

Ennek eredményeként látható, hogy a módosított FT viasz segítségével a tömörítési hőmérséklet 25 K-vel csökkenthető. A referenciaváltozathoz tartozó 145 °C helyett itt 120 °C ugyanazt a sűrűségi állapotot eredményezi azonos tömörítési energia mellett a laboratóriumban.

1. táblázat: Különböző hőmérsékleteken előállított Marshall próbatestek sűrűsége

Compaction Temperature	SMA 8 S with standard PmB (Reference)		SMA 8 S with PmB + 1.5 Wt % standard FT wax		SMA 8 S with PmB + 1.5 Wt % modified Wax	
[°C]	Density [g/cm ³]	Mean [g/cm ³]	Density [g/cm ³]	Mean [g/cm ³]	Density [g/cm ³]	Mean [g/cm ³]
145	2.334	2.329	2.343	2.343	2.351	2.346
	2.328		2.346		2.341	
	2.324		2.339		2.345	
120	2.304	2.302	2.330	2.330	2.333	2.329
	2.302		2.326		2.335	
	2.299		2.335		2.318	
100	2.276	2.281	2.267	2.271	2.285	2.292
	2.282		2.267		2.288	
	2.286		2.279		2.303	
80	2.226	2.232	2.186	2.192	2.263	2.256
	2.237		2.193		2.255	
	2.234		2.197		2.250	
60	2.141	2.146	2.152	2.143	2.166	2.162
	2.153		2.146		2.155	
	2.144		2.132		2.166	



1. ábra: A Marshall-sűrűség változása a tömörítési hőmérséklet függvényében

4. Csökkentett hőmérsékletű keverék laboratóriumi szimuláció

A kombinált termék csökkentett hőmérsékletű-adalékanyagként való megfelelésének bizonyítására további laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk az SMA 8 S-en a referencia kötőanyaggal és a referencia kötőanyaggal 1,5 tömegszázalékos módosított FT viasz hozzáadásával. A hagyományos melegkeverési eljárások célja a gyártási hőmérséklet 10-30 °C-kal történő csökkentése [1]. Mivel az ipari termelésben a végtermék hőmérséklet-szabályozása csak közvetve, az adalékanyagok hőmennyiségével és így nagyrészt az ásványok szárítódobjának teljesítményével szabályozható, a Warm Mix eljárás megvalósítása során az égőtelijsítményt kell szabályozni. leállítás vagy/ és az aggregátumok áthaladási ideje a dobban lecsökken. Attól függően, hogy ez a folyamat hogyan alkalmazkodik, befolyásolja az ásványok nedvességtartalmát a dob elhagyása után. Ha a hőmérséklet és a dobban való áthaladási idő kombinációja túl alacsony, akkor az aggregátumokban magasabb nedvességtartalom marad.

A szárítódob folyamatparamétereinek változása nem szimulálható közvetlenül a laboratóriumba történő átvitelével, mivel a laboratóriumban szokásos fűtési folyamatok eltérőek, és a valós folyamaton történő kalibrálás nem lehetséges. Ennek oka elsősorban az, hogy az adalékanyagok reális nedvességtartalmának beállítása közvetlenül nem lehetséges a laboratóriumi eljárások során, mivel a száraz tömeget mindig lemérik a pontos munkavégzés érdekében. A szárítás utáni nedvesség célzott adagolása irreálisnak tűnik a jóval lassabb laboratóriumi melegítési folyamat miatt, mivel a nedvesség feltehetően a szükséges tömörítési hőmérséklet elérése előtt elpárolog.

Emiatt az aszfalt laboratóriumi gyártási folyamata úgy módosul, hogy a folyamat lépései

- szárítás,
- bemérés,
- az aggregátumokat a referenciaválozat hőmérséklete alatti hőmérsékletre 25 K-vel melegítés,
- előkeverés

után 3 tömeg% vizet adunk a keverőhöz. Ez a kötőanyag forró adalékanyaghoz való hozzáadása előtt történik, ahol a hozzáadott víz egy része a gőzképződés következtében spontán elpárolog. Szubjektíven ez a hozzáadott víz körülbelül felét érinti. A maradék nedvesség nyilvánvalóan megmarad az adalékfelületeken. Ezt azonnal követi a bitumen hozzáadása a keverékhez és egy újabb keverési folyamat. Ezáltal a keverési idő nem változik a referenciaválozathoz képest. Ennek az eljárásnak az a célja, hogy szimulálja a maradék nedvesség hatását a keverési folyamatra.

A tömörítési kísérletekkel megegyező SMA 8 S zúzalékos masztix aszfalt két változatát vizsgáltuk. A következő változatokat tesztelték:

- SMA 8 S 25 / 55-55 (referenciaválozat) hagyományos laboratóriumi gyártásban (145 °C tömörítési hőmérséklet, nedvesség hozzáadása nélkül) -> 1. változat

- SMA 8 S 25 / 55-55 és 1,5% módosított FT viasszal a laboratóriumi gyártás WMA szimulációjával (120 °C tömörítési hőmérséklet, 3% nedvesség hozzáadása) -> 2. változat

Mindkét változatból a gördülő kerek tömörítővel mintalemezeket állítottunk elő és meghatároztuk a térfogati jellemzőket. Ezekből a lemezekből magokat fúrtunk, amelyeket a további vizsgálatokhoz használtunk fel.

Az 1-es referenciaverzió hagyományos próbatestgyártással 2,414 g/cm³ átlagos sűrűséget ért el.

A 2. változat esetében a WMA szimuláció és 120 °C-os tömörítés során 2,411 g/cm³ térfogatsűrűséget kaptunk, amelyet a referenciaválozattal egyenértékűnek kell tekinteni. Ebből a szempontból a kombinált termék alkalmas a 25 °C-kal csökkentett gyártási hőmérséklet hatásának kompenzálására a tömörítési fok tekintetében korlátozás nélkül.

5. Vízexpozíció

A tömörített aszfalt esetleges vízerzékenységének megállapítása érdekében a vizsgálati minták felét a német műszaki szabályok alapján víz alatti tárolásnak vetjük alá [12, 13]. A mintákat 72 órán át 40 °C-on víz alatt, exszikkátorban, vákuum alatt tároljuk.

6. Teljesítményvizsgálatok

A különböző változatok teljesítményének meghatározására a német szabvány TP Asphalt-StB Part 24 [14] (DIN EN 12697-24 módosított német változata, E melléklet) szerinti módosított kifáradási vizsgálatokat végeztek. A kifáradási függvény meghatározásához egy hengeres próbatestre szinuszos nyomási küszöbterhelést kell fektetni az oldalsó felületen két, egymással átmérőben ellentétes teherbevezető sínen keresztül, közvetett szakítópróbával. Ebben az esetben a próbatestben biaxiális feszültségállapot jön létre. A próbatest terhelésekor vízszintes irányú húzófeszültség keletkezik, amely a függőleges próbatest tengelyének középső tartományában csaknem állandó. Ez jelentősen befolyásolja az anyag kifáradását és ezáltal a minta károsodását. Ezenkívül függőlegesen irányított nyomófeszültség keletkezik, amely a próbatest függőleges tengelye felett változhat. Ez a nyomófeszültség a vizsgálat során a fáradás előrehaladását is befolyásolja, de a húzófeszültséghez képest jóval kisebb mértékben. Az aszfalt kifáradási funkciójának meghatározására szolgáló közvetett szakítóvizsgálat elvégzésekor a próbatesteket vizsgálati hőmérsékleten és terhelési gyakorisággal terhelik, amíg el nem érik a kifáradási kritériumot.

A TP Asphalt-StB 27. rész [15, 16] szerinti hengeres próbatesteket a TP Asphalt-StB 33. rész szerinti gördülő szektor tömörítő berendezéssel előállított aszfaltmin-ta lemezekből fúrtuk ki. Sűrűségüket víz alatti méréssel

mértük a TP Asphalt-StB 6. része szerint [10, 11]. A felhasznált próbatestek magassága 40 ± 3 mm, átmérője 100 ± 3 mm. A vizsgált változatokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Vizsgált minták

	asphalt	binder	production	compaction temperature	storage
1.1	SMA8 S	Standard PmB	Standard	145 °C	dry
1.2					wet
2.1		PmB + 1.5 Wt.% modified FT wax	WMA-simulation	120 °C	dry
2.2					wet

A teszt paraméterei a következők:

- Vizsgálati hőmérséklet: 20 °C
- Terhelési frekvencia: 10 Hz
- Alsó feszültség szint: 0,035 MPa
- Névleges felső feszültség szint az 1.1 változatnál: 0,24 és 0,55 MPa
- Névleges felső feszültség szint az 1.2 változatnál: 0,24 és 0,55 MPa
- Névleges felső feszültség szint a 2.1 változatnál: 0,23 és 0,60 MPa
- Névleges felső feszültség szint a 2.2 változatnál: 0,23 és 0,60 MPa

A tényleges vizsgálati szabvány specifikációjához képest a kiválasztott felső feszültség szintek háromról két értékre csökkentek, mivel a módszer általában nagy pontossága miatt elvileg nagyon magas regressziós együtthatókat kapunk.

A kifáradási tesztek eredményeként a négy tesztelt változat mindegyike három egyedi eredményt kap számos terhelési ismétlés formájában, amíg a [14]-ben meghatározott makrorepedés bekövetkezik. A különböző változatok eredményeit a táblázatok tartalmazzák. Ha összehasonlítjuk a két változatot száraz tárolással (lásd a 3. táblázatot a szabványos PmB-hez és az 5. táblázatot a módosított FT viaszhoz), és a két változatot a nedves tárolással (lásd a 4. táblázatot a szabványos PmB-hez és a 6. táblázatot a módosított FT viaszhoz), akkor egyértelművé válik, hogy minden esetben csak nagyon csekély eltérések vannak a kapott kifáradási függvényekben. A két WMA változat azonban - bár nem szignifikánsan - valamivel jobb, mint a hagyományos gyártású változatoké.

3. táblázat: Fáradási eredmények az SMA 8 S esetében standard PmB-vel száraz tárolás után

Testing temperature [°C]	Poisson's ratio μ [-]	Upper stress level σ_0 [MPa]	Initial elastic horizontal strain $\epsilon_{el,anf}$ [%]	Repetition until fatigue damage NMakro [-]
20	0.30	0.55	0.238	2040
			0.224	2572
			0.230	2610
		0.24	0.089	65870
			0.084	93000
			0.081	94800

4. táblázat: Fáradási eredmények az SMA 8 S esetében standard PmB-vel víztárolás után

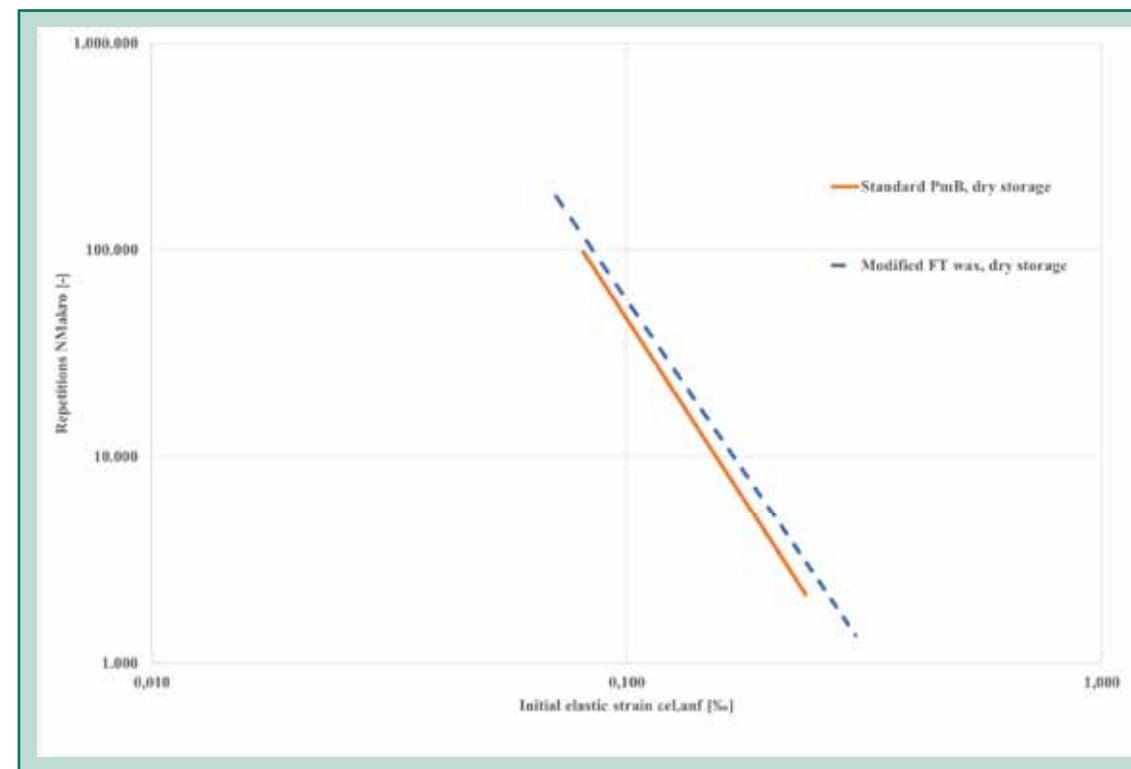
Testing temperature [°C]	Poisson's ratio μ [-]	Upper stress level σ_0 [MPa]	Initial elastic horizontal strain $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Repetition until fatigue damage NMakro [-]
20	0.30	0.55	0.267	2104
			0.231	3188
			0.235	2806
		0.24	0.094	80000
			0.099	89655
			0.082	95150

5. táblázat: Fáradási eredmények az SMA 8 S esetében módosított FT viasszal száraz tárolás után

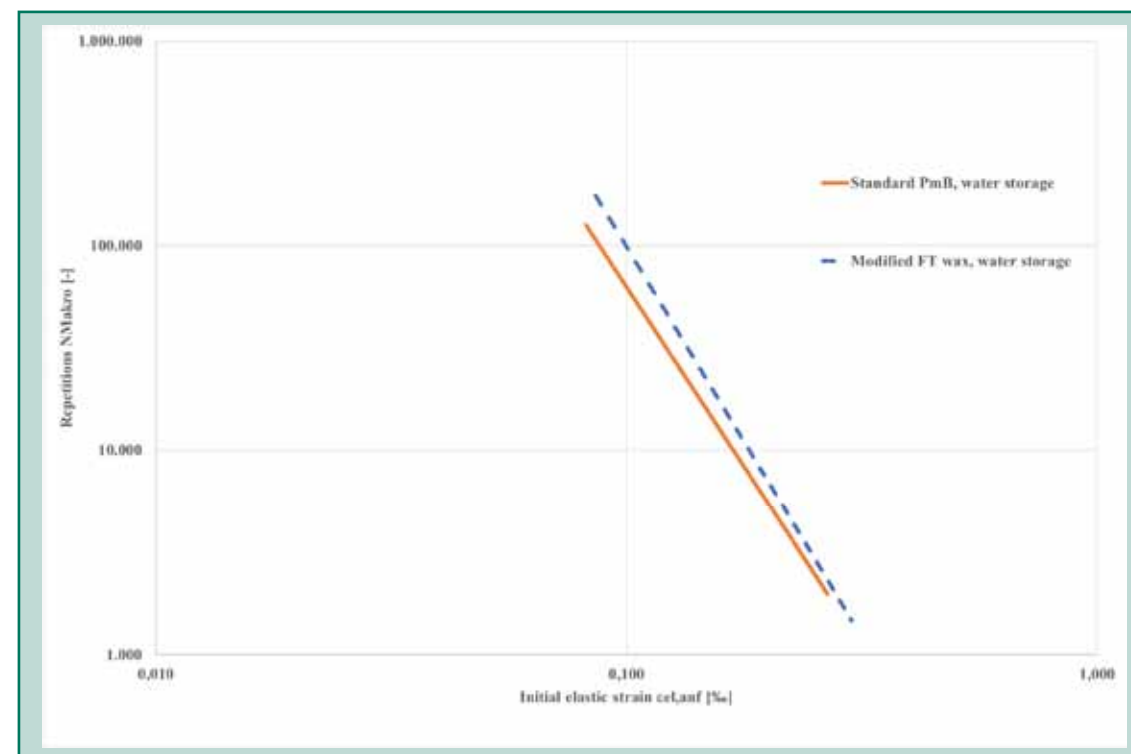
Testing temperature [°C]	Poisson's ratio μ [-]	Upper stress level σ_0 [MPa]	Initial elastic horizontal strain $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Repetition until fatigue damage NMakro [-]
20	0.30	0.60	0.268	1952
			0.303	1441
			0.289	1545
		0.23	0.078	156000
			0.071	144000
			0.078	142600

6. táblázat: Fáradási eredmények az SMA 8 S esetében módosított FT viasszal vizes tárolás után

Testing temperature [°C]	Poisson's ratio μ [-]	Upper stress level σ_0 [MPa]	Initial elastic horizontal strain $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Repetition until fatigue damage NMakro [-]
20	0.30	0.60	0.250	2202
			0.271	2088
			0.301	1950
		0.23	0.101	110160
			0.086	171393
			0.091	133020



2. ábra: Fáradási eredmények összehasonlítása – száraz tárolás



3. ábra: Fáradási eredmények összehasonlítása – vizes tárolás

7. Összefoglalás

A meleg keverék adalékanyagot módosított FT viasz és tapadásfokozó kombinációjaként tervezték. Az adalékknak egyszerre kell kezelnie az adalékanyag felületén fellépő nedvességvisszatartás hatását és a csökkentett tömörítési hőmérséklet miatti csökkent tömöríthetőséget, és lehetővé kell tennie az egyszerű használatot.

A vizsgálat részeként tömörítési vizsgálatokat végeztek. Ez azt eredményezte, hogy az adalékanyag használatakor a tömörítési hőmérséklet 145 °C-ról 120 °C-ra csökkent állandó tömörítési állapot mellett. Az aggregátumkeverékben esetlegesen megmaradó nedvesség hatását laboratóriumi WMA szimulációval vizsgáltuk. Az így kapott mintákat teljesítményvizsgálatoknak vetettük alá vizes tárolás mellett és anélkül.

Ennek eredményeként az adalékanyaggal és 25 Kelvinnel csökkentett tömörítési hőmérsékletű változatok esetében a referenciaváltozathoz képest kissé jobb teljesítményt mutatnak be. A kombinált termék tehát nagyon jól illeszkedik azokhoz a vizsgálatokhoz, amelyek a gyártási hőmérséklete kb. 25 Kelvinnel alacsonyabb.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a hamburgi SASOL Wax GmbH-nak az adatok felhasználásáért. Valamennyi tesztet az EUROVIA Services GmbH, Materialprüfungsanstalt (MPA), Central Laboratory Bottrop (Juliane Richter, Kay Willmeroth) végezte.

Irodalomjegyzék

- [1] European Asphalt Pavement Association: The use of Warm Mix Asphalt. EAPA-Position Paper. Published online on www.eapa.org. Brussels/Belgium, 2014. Last downloaded August 01th 2019
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB 07/13, edition 2007/version 2013. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2014
- [3] Hurley, G. C. and Prowell, B. D., Evaluation of Sasobit for use in warm mix asphalt, NCAT Report 05-06, Auburn, National Center for asphalt Technology, 2005
- [4] Kvasnak, A. N. and West, R. C., Case study of warm mix asphalt moisture susceptibility in Birmingham, Alabama, Transport Research Board 88th annual meeting, No. 09-3703, Washington DC, 2009
- [5] Goh, S. W. and You, Z.; Evaluation of warm mix asphalt produced at various temperatures through dynamic modulus testing and four point beam fatigue testing. Proceedings of the GeoHunan international conference – pavements and materials: Recent advances in design, testing and construction. Hunan, Geotechnical Special Publication, Vol. 212, China, 2011, 123-130
- [6] Hurley, G., Prowell, B. and Kvasnak, A., Wisconsin field trial of warm mix asphalt technologies. Construction Summary (NCAT Report 10-04), Auburn, National Center for Asphalt Technology, 2010
- [7] Epps, A. E. et al, Evaluation of the Moisture Susceptibility of WMA Technologies, NCHRP Report 763, Transport Research Board, Washington DC, 2014
- [8] Sasol Performance Chemicals: Sasobit REDUX – Produktinformationen (product information). September 2016 Published online on www.sasobit.de. Last downloaded August 01th 2019
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen, TL Bitumen-StB 07/13, edition 2007/version 2013. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2013
- [10] European Standard EN 12697-6: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 6: Determination of bulk density of bituminous specimens; German version EN 12697-6:2012
- [11] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 6: Raumdichte von Asphalt-Probekörpern, edition 2016. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2016.
- [12] European Standard EN 12697-12: Bituminous mixtures - Test methods - Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens; German version EN 12697-12:2018 (Method A), 2018
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 12: Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern, edition 2007. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2008
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 24: Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung, edition 2018. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2018
- [15] European Standard EN 12697-27: Bituminous mixtures - Test methods - Part 27: Sampling; German version EN 12697-27:2017
- [16] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 27: Probenahme, edition 2016. FGSV Verlag, Köln/Germany, 2016



ÚJGENERÁCIÓS ASZFALT MOL GUMIBITUMENBŐL

A MOL többéves kutató-fejlesztő munkával dolgozta ki az új összetételű, gumiabroncsok újrahasznosításából származó, gumiőrleményt is tartalmazó MOL Gumibitument.

Az aszfaltburkolat ennek köszönhetően hosszabb élettartamú, nagyobb teherbírású, és összetételéből adódóan csökken a kátyúk kialakulásának esélye.

Tartson Ön is velünk a jövő útján!

HAPA TAGVÁLLALATAI

Aszfalt Hungária Kft.

H- 2225 Üllő
belterület, hrsz. 3753.
<https://euroaszfalt.hu>

Budapest Közút Zrt.

H-1115 Budapest
Bánk bán u. 8-12.
<https://budapestkozut.hu>

Colas Közlekedésépítő Zrt.

H-1113 Budapest
Bocskai út 73.
<https://colas.hu>

Colas Út Zrt.

H-1113 Budapest
Bocskai út 73.
<https://colas.hu>

DÉLÚT Kft.

H-6750 Algyő
Kastélykert u. 171.
Pf: 4
<https://delut.hu>

Duna Aszfalt Zrt.

H-6060 Tiszakécske
Béke u. 150.
<https://www.dunaaszfalt.hu>

Harmat-Bau Kft.

H-6725 Szeged
Harmat utca 16.

Hazai Építőgép Társulás Zrt.

H- 2351 Alsónémedi
Ócsai út 2405/4 hrsz.
<https://www.epitogep.com>

He-Do Kft.

H-3261 Pálosvörösmart
Hagyóka u. 1.
<https://he-do.hu>

MENTO Környezetkultúra Kft.

H-3527 Miskolc
Besenyői út 26.
<https://mentokft.hu>

MOL Nyrt

H-1117 Budapest
Október 23. u. 18.
<https://mol.hu>

OMV Hungária Ásványolaj Kft.

H-1117 Budapest
Október Huszonharmadika utca 6-10.
<https://www.omv.hu>

PENTA Kft.

H-2100 Gödöllő
Kenyérgyári u. 1/E.
<http://pentakft.hu/>

„SOLTÚT” Kft.

H-6320 Solt
Kecskeméti u. 34.
<http://soltut.hu>

Swietelsky Magyarország Kft.

H-1016 Budapest
Mészáros utca 13.
<http://swietelskymagyarorszag.hu>

Úteppark Útépitő és Mélyépítő Kft.

H-8000 Székesfehérvár
Szlovák utca 6.
<http://uteppark.hu>

Vértes Aszfalt Kft

H-2800 Tatabánya
Réti út 174. Fsz. 4.
<http://vertesaszfalt.hu>

HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

Ammann Austria GmbH

Anzing 33
A-4113 St. Martin im Mühlkreis
<https://www.ammann.com/de/>

AUMER Kft.

H-1112 Budapest,
Reptéri út 2.
<http://aumer.hu/>

BHG Bitumen Kft.

H-1117 Budapest
Gábor Dénes utca 2. Infopark D épület
Telefon: + 36 1 358 5061
<http://bhg.huauholding.com>

BME Út és Vasútépítési Tanszék

H-1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3.
<https://epito.bme.hu/ut-es-vasutepitesi-tanszek>

Carmeuse Hungária Kft.

H-7828 Beremend
064/1 hrsz
<http://www.carmeuse.eu/hu/carmeuse-hungaria-kft>

Csillagszer Kft.

H-3700 Kazincbarcika
Erdész u. 10.
<https://csillagszer.com>

EuroAszfalt Kft

H - 2225 Üllő
belterület 3753 hrsz.
<http://euroaszfalt.hu/>

EULAB Kft.

H- 2120 Dunakeszi
Székesdűlő 135.
<https://www.eulabkft.hu/>

Huntraco Kereskedelmi és Szolgáltató Zrt.

H-2040 Budaörs
Kamaraerdei út 3.
<https://www.huntraco.hu/>

INNOTESZT Kft.

H - 2225 Üllő
Zsarókahegy hrsz. 053/30.
<http://euroaszfalt.hu/leanyvallalat/innoteszt-kft>

INNOVIA Kft.

H- 2541 Lábatlan
Dunapart 1605/2 hrsz.

ITERCHIMICA S.R.L.

Via G. Marconi, 21,
24040, Suisio (BG), Italy
<http://www.iterchimica.it/>

KONSTRUKTÍV Kft.

H-1165 Budapest
Nyílvessző u. 24.
<http://www.iterchimica.it/>

Mélyépítő Labor Kft.

H-1144 Budapest,
Füredi út 74-76.
<https://www.facebook.com/melyepitolabor/>

Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő

Részvénytársaság
H-1024 Budapest
Fényes Elek u. 7-13.
<https://internet.kozut.hu/>

MAB Tarnóca Kőbánya Kft.

H- 2045 Törökbálint
Torbágy u. 20.
<http://www.tarnoca.hu/>

Omya Hungária Mészfeldolgozó Kft.

H-3300 Eger,
Lesrét utca 71.
<https://www.omya.com/>

Profi-Bagger Kft.

H - 2051 Biatorbágy
Tormásirét u. 6.
<https://profi-bagger.hu/>

Rec-Plus Kft.

H-3200 Gyöngyös
Felső-Újvárosi utca 2.
<http://www.recplus.hu/>

Rettenmaier Austria GmbH & Co.KG

A-1230 Wien
Rudolf-Waisenborn-Gasse 18.
https://www.jrs.de/jrs_de/

Rodcont Kft.

H-1221 Budapest
Orsovai u. 10/a
<https://rodcont.hu>

TPA HU Kft.

H-1097 Budapest
Illatos út 8.
<http://www.tpaqi.com>

STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

H - 1043 Budapest
Dugonics u. 11.
<http://www.sta.hu>

Sripath Innovations Ltd / Sripath Technologies LLC

21 Ledbury Place
Croydon CR0 1ET
United Kingdom
<https://sripathinnovations.com>

ÚTLABOR Kft.

H- 9151 Abda
Bécsi út 15.

VIA-PONTIS Mérnöki Tanácsadó Kft.

H-2092 Budakeszi
Barackvirág u. 8.
Telefon: 23 457 283, 1 205 3645, 30 475 2842

Wirtgen Budapest Kft.

H-2363 Felsőpakony
Erdőalja u. 1.
<https://www.wirtgen-group.com/budapest/hu/>



ASZFALT HUNGÁRIA KFT.

SZÉKHELYE: 2225 ÜLLŐ, BELTERÜLET, 3753 HRSZ
KÖZPONT: 1133, BUDAPEST PANNÓNIA UTCA 59-61.

ELÉRHETŐSÉG: TEL: 0036 29-522-200

TELEPHELYEINK:

5561 Békésszentandrás, Külterület hrsz 0247/11

4029 Debrecen, Mikepércsi út 0530/80 hrsz

2462 Martonvásár, 0152/1 hrsz

8800 Nagykánizsa, 0632 hrsz – mobil keverő *

7100 Szekszárd, Palánki út 41

2225 Üllő, Belterület 3753 hrsz

9442 Fertőendréd, külterület 0157/17. hrsz.

**A mobil keverő az ország egész területére öt napon belül eljuttatható.*