

AZ Aszfalt

A Magyar Aszfalttípari Egyesülés

hőpa

hivatalos lapja

XXX. ÉVFOLYAM 2023/1. szám



Asphalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

Lehengerlő megjelenés,
BOMAG!



2023
június

Tisztelt Cégvezető Kollégák, HAPA tagok, Fiatal Mérnökök!

Tizenhatodik alkalommal invitáljuk, pályakezdő kollégáinkat a HAPA

Fiatal Mérnökök Fórumára 2023 november 7.-én kedden.

Az aktuális helyszínről a későbbiekben tájékoztatjuk önöket.

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 tagvállalatainkat, hogy ösztönözzék a fiatal szakembereiket előadás tartására, mert úgy gondoljuk, hogy a rendezvénynek a hagyományos céljainkon kívül szakmában tartó hatása is van.

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

Üdvözlettel

Veress Tibor
igazgató
Magyar Aszfaltipari Egyesülés



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

Kathy Dávid-Dankó Gábor – Automatizált burkolatmarás	4
Karoliny Márton – Az aszfalt mechanikai viselkedésének megismerése és következményei	8
Dr. Gajári György – A digitális viszkohipoplasztikus aszfaltmodell gyakorlati következményei	15
Bernd Abele - Fodor Péter – Funkcionális aszfaltadatlékok a tartós, fenntartható és környezetbarát utakért	23
dr. Töröcsik Frigyes – Hidegmix útalapok utóminősítésének eredménye	26
A HAPA XXIII. Konferenciájának ajánlásai	28
Zsichla László – Különböző aszfaltkeverékek teljesítményének összehasonlítása, mechanikai alapú értékelési módszertana többretegű útpályaszerkezetek esetén.....	31
Breixo Gomez – Felkészültek útjaink az új mobilitásra	40
David Kempf_ MSc_ – Innováció a burkolatépítés ellenőrzésére – a beépítő személyzet biztonsága.....	44
Dr. Füleki Péter – Koch Domonkos – HAPA tanulmányút az AMMANN gyárban – RAP visszaadagolást lehetővé tevő aszfaltkeverők	51
Frank Tamás – Innovatív brikettáló és betontechnológiai rendszer bevezetése a MAB Pharma Zrt.-nél.....	54
Xavier CARBONNEAU – Az aszfalttrácsok alkalmazása a pályaszerkezetben: a Soldugri projekt legutóbbi eredményei	56

Tisztelt Kollégák!

Az elmúlt évi aszfalt termelésünk 4.360 ezer tonna volt, ami elfogadható mennyiség az elmúlt évek, de különösen elfogadható a közeljövő ismeretében. Ez a szép eredmény a HAPA számára is örömteli, hiszen mi a tagjaink által fizetett tagdíjakból élünk, és az Önök jó teljesítménye a mi bevételeinkre is jó hatással lehet. Gratulálunk minden tagunknak és nem tagunknak, és hasonló sikeres évet kívánunk erre az ideire is.

Mi magunk is sikeresnek mondhatjuk az elmúlt évet, mert minden megígért szolgáltatásunkat be sikerült tartanunk. Két tanulmányutunk kifejezetten sikeres volt, Olaszországban az AMMAN cég Verona melletti gyárában, Lengyelországban pedig a Strassmayr cég Poznani központjában ismerkedtünk meg a technológiai újdonságokkal, és a termékekkel. Köszönjük a vendéglátóknak a kedves fogadtatást.

A Konferenciáink is jól szolgálták a céljainkat. Az újságunk nem csak papír alapon, de a honlapunkon is megtekinthető. Két új társult tagot köszönhetünk sorainkban, az Ironwell Asphalt Technologies Kft.-t és az OTYS Úttechnika Kft.-t.

Három rendezvényünkre szeretném a figyelmüket felhívni:

- Lapunk belső borítóján meghirdetett Fiatal Mérnökök Fórumára, amelynek helyszínét még nem véglegesítettük.
- Már most jegyezzék elő a HAPA XXIV. konferenciájának időpontját, amit 2024. február 20-21.-én tervezünk megtartani.
- Nagy lelkesedéssel készülünk a 8. E&E Kongresszusra, ami a szakmánk legnagyobb Európai rendezvénye.

Ennek időpontja: 2024. június 19-21. A helyszín Budapest Millenáris Park.

Veress Tibor
igazgató HAPA

Automatizált burkolatmarás

Kathy Dávid



BIM Főmérnök
Colas Hungária Zrt

Dankó Gábor



BIM Mérnök
Colas Hungária Zrt



Ezen technológia alapja, hogy a marógép automata módon végzi el egy adott útfelület előre kiszervezett marását. Ezt oly módon teszi, hogy a marógépre automatizáló vezérlőeszközök kerülnek, melyeknek feladata a marógép mozgásának a vezérlése (kivéve a haladási sebességet), illetve a maródob marási mélységének vezérlése olyan módon, hogy a létrejövő felület hossz-, illetve keresztirányú hullámoktól mentes legyen.

Szükséges peremfeltételek

Tervezési előkészületként kell egy felmérés, mely lehetőleg a kivitelezést megelőző hetekben/1-2 hónapban kell történnie. Ez azért is fontos, mert tulajdonképpen ez biztosítja azt, hogy már a marás vezérlés megtervezésekor megfelelő képet kapjunk a burkolat állapotáról. Ha egy tervezőtől kapott terv két éves, akkor már annyit romolhatott az út állapota, hogy az adott terv nem lesz megfelelő. Ez nem a tervező hibája, ez fizika.

Igaz nem peremfeltétel, de a precíz kialakításban kellő segítséget adhatnak a meglévő tervi állományok. Ha rendelkezésünkre áll, akkor érdemes belőlük a főbb adatokat kiolvasni és átmenni a tervezési módszerbe. Ilyenek lehetnek a vonalmenti ívek adatai és természetesen az ezekhez kapcsolódó burkolat-oldalesés változások is.

Azonban készpénznek ne vegyük ezeket az adatokat, mindig össze kell hasonlítani a felméréssel.



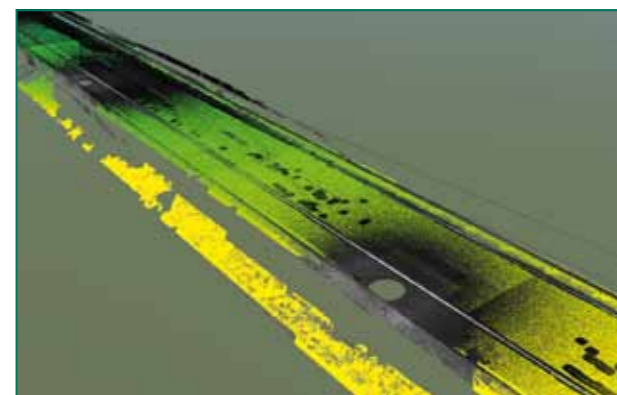
Felmérési módszerek

- **Hagyományos geodéziai:**
A keresztmetszetek 20-25 méterenként kerülnek felvételre. Vannak előnyei, hátrányai. Annyi biztos, hogy időközben annyit fejlődött a technika, hogy vannak sokkal jobb felmérési lehetőségek is, amelyekkel részletesebb képet kaphatunk egy adott szakasz állapotáról.
- **Statikus lézerszkennelés:**
szubcenti pontos is lehet, maga a felmérés, viszont lassú, de kétségkívül ez adja a legjobb eredményt. Itt behajthatnak a gépjárművek a mérési képbe, így maga az állomány tisztításra szorul.
- **Mobil lézerszkennelés:**
Nem olyan pontos, mint a statikus felmérés, de lényegesen gyorsabb. Azonban érdemes többször átmenni egy adott szakaszon, hogy a hibák kiküszöbölhetőek legyenek. Itt csak az útpályát szkennelni a lézer, így nem kell annyit tisztítani az elkészült felmérést. Példaképp a Topcon mobil lézerszkennere egy bázisállomással rádióan tartja a kapcsolatot, ezért nagyon pontos tud lenni, de ha elveszíti a jelet, akkor sűrűbb állásokra lehet szükség.

A statikus, vagy mobil lézerszkennelés közül azt érdemes választani, ami az adott munkához megfelelő. Egy rossz állapotban lévő alacsony rendű útnak egy szakasza statikussal könnyen megoldható.

Egy M1-M7 kivezető már másabb megközelítést kíván.

Lézerszkennelt állomány feldolgozása



Bármelyik felmérési módszert választjuk, a nyers adatokra van szükségünk, illetve szinte minden modellező-, vagy tervezőprogramnak erre van szüksége. Az elkészült pontfelhő állományok nem lehetnek gyártóspecifikusak, egy összetett folyamatban minden gyártónak vannak erősségei, ezeket ötvözve lehet jó minőségben, aránylag gyorsan dolgozni. A .las kiterjesztés erre tapasztalataink szerint minőségi, kompromisszumok nélküli munkát tesz lehetővé.

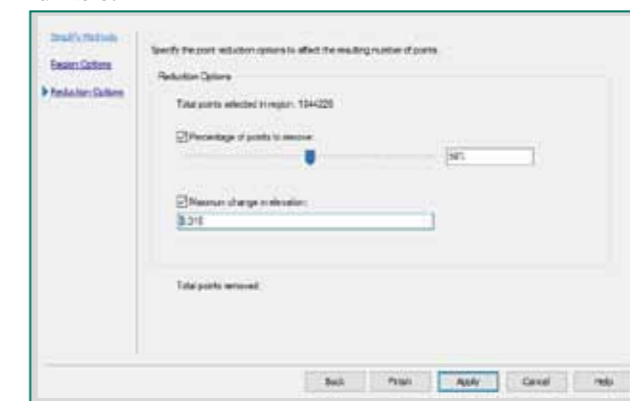
Tisztítást kell végrehajtani a felmért állományon, gyakorlatilag le kell vágni amire nincs szükség, vagy ki kell szűrni (ez azért nem olyan egyszerű).

A legjobb, ha alaposan végignézzük az elkészült felmérést, amire nincs szükség, azt pedig kivágjuk. Erre több okból is szükség van: sok adatot nyerünk ki és ez is a célunk a lézerszkenneléssel, de így okvetlenül sok a fő-

lősleges, vagy egyenesen zavaró adat is megjelenik a felmért adatok között. Például: nem kell a rézsú, nem kell a szalagkorlát, nem kell a lámpa. Csak az útpálya, és a csatlakozó elemek, csatorna, szegély, csomópont, beömlők, stb.

Digitális útburkolati modell, felület készítés

Ha már pontfelhő, akkor készítsünk részletes felületet, de ha túl részletes, akkor egyszerűen kontraproduktívak vagyunk, óriási adatállományt kapunk, de nem tudjuk feldolgozni. Meg kell találni az egyensúlyt, nem kell 0,5 centiméteres élhosszúságú felületet generálni, lehet bátran fentebb állítani. Azonban van egy másik megoldás is, ezt is szoktuk alkalmazni: elkészítjük nagyon részletesre a felületet, aztán egyszerűsítjük. Az Autodesk Civil 3D szoftverben van egy erre szolgáló rendkívül hasznos funkció:



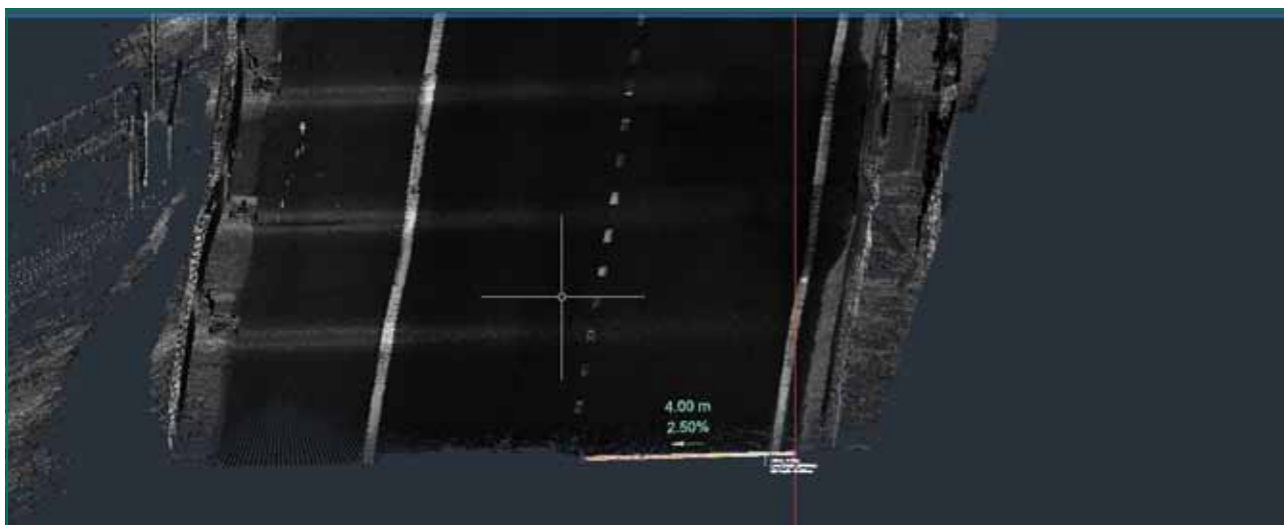
A fenti képen látható beállítás az alapértelmezett beállítás, itt azt láthatjuk, hogy a szoftver a pontok 50%-át eltávolítja, de magasságilag nem változhat, maximum 1 centiméter. Így ki tudja szűrni a „feleslegesnek ítélt” felmérési pontokat. Ezáltal információvesztés nélküli adategyszerűsítés történik.

Tervezés-Modellezés

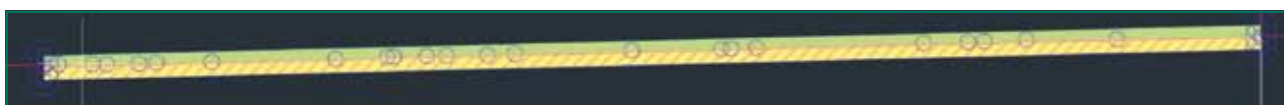
Az általunk használt szoftverben többféle módon tudjuk elkészíteni a marási felületet.

- **Manuális:**
Akár hagyományos módnak is nevezhetném, a lényeg, hogy keresztmetszetről-keresztmetszetre történik a tervezés. Ezt legfőképp belterületi szakaszokon érdemes használni, ahol valamihez tartani kell az esést, pl. csatornabeömlő, vagy van valamilyen szegély, stb.
- **Félaautomata:**
A szoftvernek a következő input adatokat adjuk meg: a minimális marási mélység, kiegyenlítő és a kopó réteg vastagságok, oldalesés eltérés tűrés, túlemelés, burkolat és sávszélek és egyéb peremfeltételek. Ezek után pedig a szoftver algoritmus a lefut a korábban generált felület modellen és egy javaslatot tesz. Ezért félaautomata, mert javaslatként kell kezelni amit mutat, hiszen a szoftver nem tudja, hogy egy adott felmérési pont az egy csatornafedél, vagy egy burkolatgyűrődés. Ezt a módszert így külterületi szakaszokon érdemes használni, viszont a személyes felelősség az mindig a modellező/tervezőé, így ezt is át kell nézni.

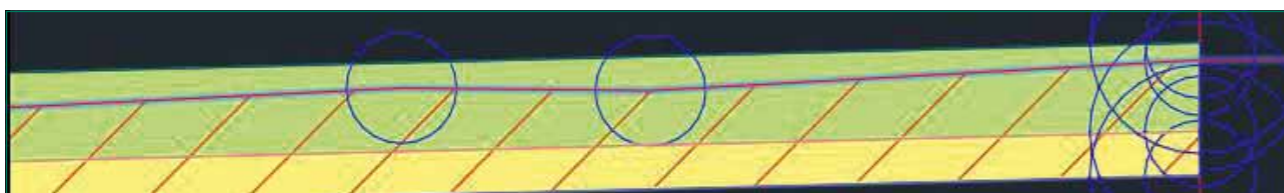
Vizuális ellenőrzés:



Egy sáv összes vizsgált pontja egy keresztmetszetben:



Keresztirányú hibák nagyítva:



Kimenő adatok a marógépnek

Az általunk használt Leica marási rendszernek egy darab, három vektorláncból álló modellt kell átadunk. Figyelni kell az adatsűrűsége és az adatmennyiségre, tehát nem szabad, hogy túl részletes legyen (pl.: 1 cm hosszú szakaszok), mert a marógép nem biztos, hogy fel tudja dolgozni. Továbbá, ha túl hosszú a szakasz, akkor szét kell bontani (12 km már hosszú).

Nekünk meg kell adnunk az ún. „master sávot”, a lenti képen zöld nyilakkal jelölt középvonalat, a dob bal és a jobb szélét. Ebből készíti el a rendszer a felületet, és vezérli a gépet az általunk meghatározott módon.



Mivel a RTK-GNSS-t (geodéziai GPS) használt a rendszer a pozíciója meghatározására, így a teljes modellnek georeferálnak kell lennie.

Leica differenciál marási rendszer:

Az általunk tesztelt eszközök a Leica rendszer részét képezik és a beépítési gépláncok optikai vezérlésétől

eltérően itt GPS/RTK pozícionálási rendszert használunk, gyorsítva ezzel a marógép mobilitását, mert nincs szükség a marás közben pozícionáló mérőállomások telepítésére és folyamatos mozgására, hanem gyakorlatilag csak egy egyszeri kalibrálási folyamat után a rendszer készen áll a használatra és a folyamatos, centiméter pontosságú RTK rendszer használatával a marógép vezérlőegysége állandóan tudja, hogy a marógép éppen melyik részen jár és hogy ahhoz milyen marási metódus tartozik.

Tehát a marógép tudja a pontos pozícióját, közben folyamatosan tapogatja az ultrahangos érzékelővel az útburkolat felületét. Azt, hogy hol mennyit kell marnia pedig a modelltől olvassa ki.



Első eredményeink Leica rendszerrel:

A 31-es számú főút egy 6,5 km-es szakaszán került kipróbálásra a teljes rendszer és ezen szakaszon kiderült, hogy jelentős idő spórolható meg az előkészítés során. Nincs szükség így a továbbiakban helyszíni geodéta jelenlétére, különösen a helyszínrajzi ívek esetén, ahol burkolatátfordítás és tümelés is van, ugyanis a hagyományos módszer esetén ezen részeken a helyszínen jelölni kell a burkolaton az oldalesés értékeket és manuálisan állítani a marógépet a megfelelő keresztirányú profilhoz. A differenciál marás esetén azonban nincs szükség ezen előkészítésre, így költség takarítható meg, mert nem szükséges a fent említett helyi kijelölés, illetve további költség takarítható meg a helyi geodéta munkájának elhagyásával. A teszt során fontos lépés volt, hogy a napi munkamennyiség teljesíthető legyen a hatékonyság érdekében, érte ezalatt azt, hogy a marógép legalább azzal a sebességgel tudjon dolgozni, mint a kézi vezérlés esetén. A Leica rendszer, valamint a marási terv alapján ez a teljesítmény teljes egészében hozható, sőt akár nagyobb teljesítmény is elérhető.

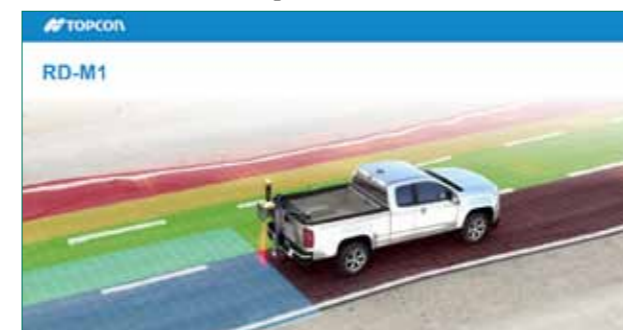
A Topcon Smoothride technológia

Ezen technológiánál érdemes kiemelni, hogy a Topcon csomagban kínálja a technológiát, ezalatt érte azon előkészítő részeket is, mint a lézercsanelés, illetve a marási terv elkészítése.

Modellezési megközelítésből hasonló, mint a Leica rendszer, azonban a Topconnak olyan direkt célszoftvere van, ami semmire másra nem való, csak a marás tervezésére, de az nagyon könnyen kezelhető.

Ez a rendszer nem csak a RTK/GNSS korrekciók útján adja meg a vezérlést, hanem bázisállomások segítenek, melyeket az előkészítési/tervezési fázisban, valamint a marási fázisban is használni kell. A bázisállomás előnye a rádiófrekvenciás csatlakozás. Így nem kell optikailag „láttnia” se a munkagépet, se a lézercsanelert.

Az előkészítés során a felmérést az RD-M1 lézercsaneler végzi. Ez egy gépjárműre szerelt mobil scanner, amin van egy RTK-GNSS antenna is. A rendszer működési elve részben a lézer elhelyezkedésében, részben a pozícionálás módjában mutat eltérést a statikus megoldásokkal szemben. Kizárólag az útpályát méri, csökkentve ezzel a feldolgozandó adatok mennyiségét, kiszűrve a felesleges részeket (oldalt lévő fák, növényzet, táblák, stb.). A Topcon megoldása az ún. Post-processing technológiát is alkalmazza, melynek lényege, hogy a pontfelhő készítésénél felhasználja az elérhető műholdak almanach adatát (a műholdak pályáinak adatai, az ionoszféra modellje, stb.), így további pontosítást lehet elérni az elkészült pontfelhőre vonatkozóan.



További fontos eszköz oldal a gépvezérlés, amit szintén a Topcon munkatársai telepítenek az adott marógépre. Az építőipari piacon szereplő gyártók összes marójával kompatibilis a rendszer, így bármilyen gépre telepíthető. A rendszer elve hasonló a fent említett Leica rendszerhez.

Már említettem az előzőekben, a hangsúly itt is a csomag megoldásban van, ugyanis a Leica rendszerrel szemben a Topcon saját megoldást kínál a differenciálmarás tervi részére.

Marás után:

Miután a marás lezajlott, ismét két opciónk van a burkolatépítésre:

- Hagományos, ultrahangos finisheres beépítés: A finisher menetközben ultrahanggal letapogatja a felületet és ezt a fogadófelületet kvázi eltérő magassággal másolja, hiszen az alapos tervezés és kivitelezés után már azt a felületprofilot kell kapjuk, ami a végleges lesz.
- Automata gépláncos beépítés: A finisher modell alapján dolgozik, hiszen a tervezés során megkapjuk a végleges felületet. Ebből kinyerhető a finisher számára a követendő aszfaltszint, így ha valahol valami miatt mélyebben kellett marni, akkor azt a hibát már nem görgetjük tovább.

A gépeket felül lehet bírálni a marás és beépítés során is. Tehát a gépkezelő felül írhatja marás és aszfaltbeépítés során a modellt, amennyiben erre szükség van.



Konklúzió:

A képlet egyszerű: több elvégzett munka, kevesebb emberrel, még magasabb elvárásokkal. Mí a Colas-nál arra számítunk, hogy szapaorodnak a marási munkák, mindezt a képzett fizikai munkaerő hiányával számolva kell elvégezni, az eddigieknél is precízebben. Ezen kihívásokra válaszolva egy jó megoldás tud lenni az automatizált differenciálmarás.

Bár több előkészítésre van szükség, mint a hagyományos munkafolyamatot követve, ez a technológia gyorsabb helyszíni munkavégzést tesz lehetővé, amint beállt a gép, indulhat a munka. A feltétele az, hogy a helyszíni munka előtt jól felkészüljünk, így hamarabb tudjuk átadni az adott szakaszt. Jó a lakosságnak, hiszen hamarabb indulhat meg rajta a forgalom. Jó a cégnek, mert szállíthatjuk a gépet máshova, ahol megint termelésbe állhat.

Az aszfalt mechanikai viselkedésének megismerése és következményei

Karoliny Márton



Nyugdíjas
HTPA ügyvezető

Bevezető

dr. Gajári György előadásához

Az elmúlt években dr. Gajári György több, nagyon fontos eredményt tett közzé az aszfaltkeverékekkel kapcsolatos kutatásából.

Ezeket az eredményeket szükséges lenne a hazai aszfaltiparban is részben megismerni, részben alkalmazni, illetve vannak tovább gondolandó, további fejlesztést igénylő részek is.

Ez az írás ezen fejlesztések megalapozásához született.

1. Bevezetés

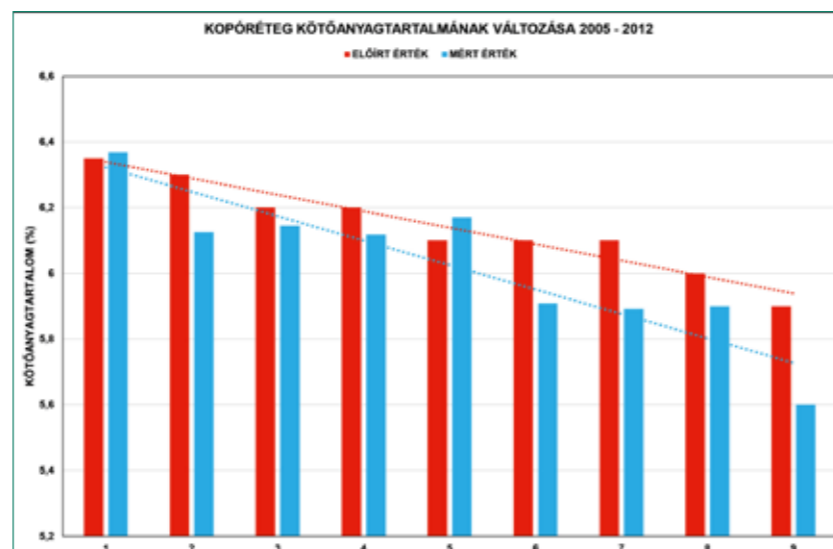
Mindenekelőtt le kell szögezni, hogy a hengerelt aszfaltra szükség van és szükség lesz a magyar országos és helyi közúthálózaton.

Szükség van rá, mert **nincs alternatíva**. (1) Az aszfalt eddig megismert tulajdonságai közül ki kell emelni az **újrahasznosíthatóságot**, amely az ökológiai szempontból minden ma ismert versenytárral szemben jelentős előnyt biztosít.

Szakmánk ugyanakkor nem fordít kellő figyelmet a lehetséges új megoldások bevezetésére.

Tanulmányozva az első ábrát egy kifejezetten káros trendet tapasztalhatunk, amely egyrészt szakmai, a potenciális keréknyomképződés veszélyére hivatkozva alkalmazott csökkenő kötőanyagtartalom ugyanis a **használhatóságot** veszélyezteti.

Ebben az írásban a potenciális innovációkról lesz szó, amelyekkel problémáinkat megoldhatjuk.



1. ábra

2. A teherhordó pályaszerkezetéről és a használhatóságról

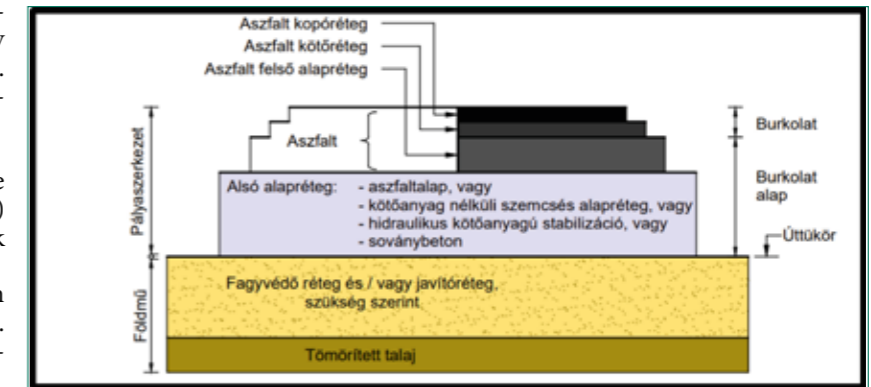
Pályaszerkezetek **teherhordó** szerkezetek, amelyek funkciója a járműforgalom biztonságos és gazdaságos hordozása.

A pályaszerkezetek összetett szerkezetek, jellemzően különböző vélt, vagy valós funkciót hordozó elemekből állnak. Így pl. a jármű/pálya kapcsolat megfelelőségéért főként a kopóréteg „felelős”.

(2. ábra)

A teherhordó szerkezetek méretezése (vagy a felvett méretek ellenőrzése) rendszerint az egyes szerkezeti elemek vizsgálatával történik.

A **teljes** szerkezetre szinte általánosan egy alakváltozási jellegű kritérium (pl. hidak lehajlása, útpályaszerkezet behajlása) ellenőrzése a szokásos.



2. ábra

2.1. Követelmények a teljes pályaszerkezetre

Pályaszerkezetekkel szemben **használhatósági** követelményeket támasztunk és a színvonalas közútkezelésben ezeket a követelményeket ellenőrizzük.

Az országos közúthálózaton a legfontosabb pályaszerkezeti jellemzők a következők:

- teherbírás
- egyenetlenség
- burkolatállapot
- keréknyomvályú mélység

Ezeket a követelményeket a közútkezelők rendszeresen vizsgálják, ezáltal minden vizsgálati időpontban ellenőrizhető a teljesülés.

Az útgazdálkodásban ugyanakkor lényeges a változások időbeli alakulásának ismerete, mert ezzel lehet a szükséges beavatkozások időpontjait megtervezni.

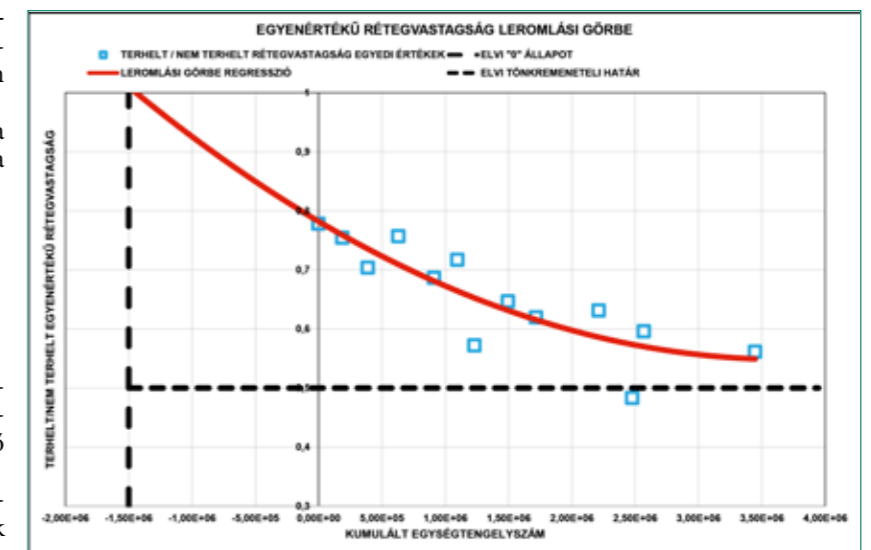
A továbbiakban vizsgáljuk meg az egyes követelmények pályaszerkezet – mechanikai aspektusait.

Jelenlegi gyakorlatunk nagymértékben a **szilárd, rugalmas** (ritkábban részben **viszkózus**) anyag feltételezésén alapul, ez a hipotézis a pályaszerkezet anyagaira nézve meglehetősen bizonytalan.

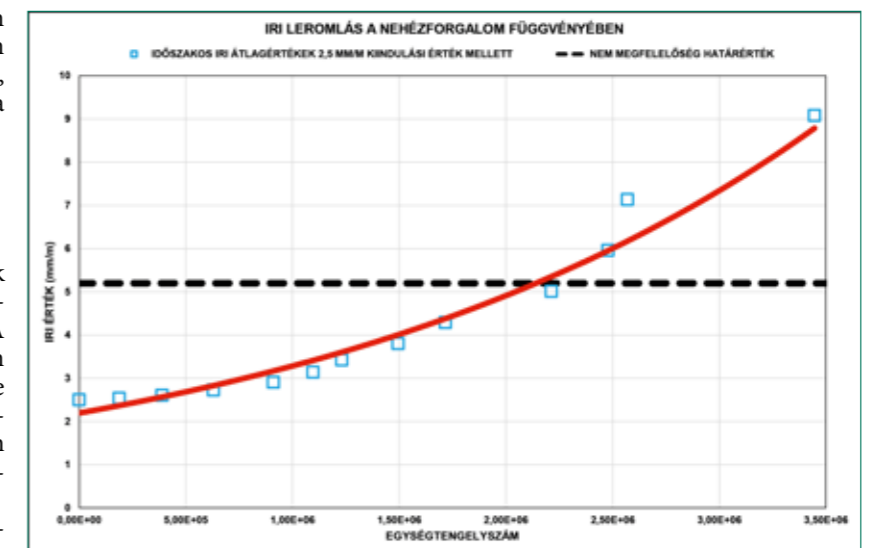
2.1.1. A teherbírás időbeli változása

Az útmérnökök régóta igyekeznek a használhatóság leromlásának prognosztizáló módszereit meghatározni. A többretegű (vízszintesen kétirányban végtelen) együttdolgozó lemezek esetére mechanikai módszerek alapján lehetséges például a „teherbírás” – a példában **egyenértékű rétegvastagság** - csökkenésének prognosztizációja (3). (3. ábra)

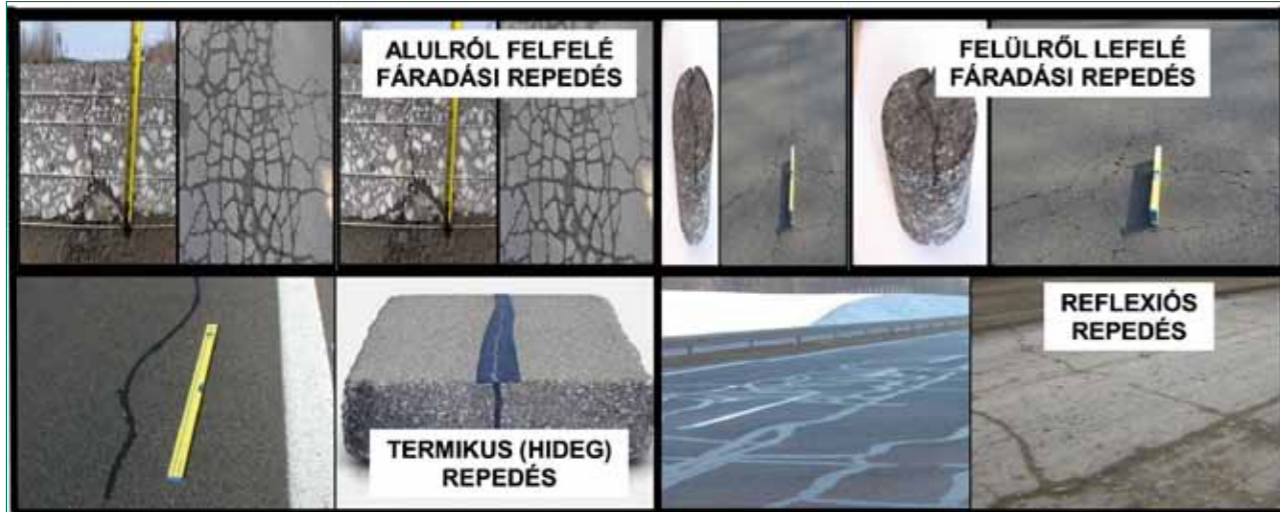
Ez tulajdonképpen egy - mechanikailag megalapozott - **fáradási** határérték megközelítését mutatja.



3 ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra



7. ábra

2.1.2. Az egyenletesség alakulása

Az úthasználók számára az útpályaszerkezet egyenletessége (mérészám az IRI, mm/m dimenzióval) az egyik legfontosabb követelmény, amely a menetellenállás egyik fő jellemzőjeként a közlekedésüzemi költséget is nagymértékben befolyásolja.

A maradó alakváltozások számításához még egyszerű változatban sem alkalmas a szilárdtest feltételezés, jelenlegi gyakorlatunk empirikus megoldásokat használ, amelyhez például a szerkezeti szám (4) szolgálhat kiindulási alapul a prognózishoz.

A 4. ábrán Paterson (5) alapján készült előrebecslést láthatjuk, a konkrétan mért értékek feltüntetésével, ami az eljárás meglehetősen hatásos voltát bizonyítja.

2.1.3. Burkolatállapot

A burkolatállapotot egy szubjektív állapotfelvevél adataiból számítják, a bemenő egyedi meghibásodások döntő részben *repedések*. (5. ábra)

A leggyakoribb (és az alkalmazott erőtani számításokkal *korlátozott* pontossággal prognosztizálható) repedéstípusokat a megelőző ábrán tanulmányozhatjuk.

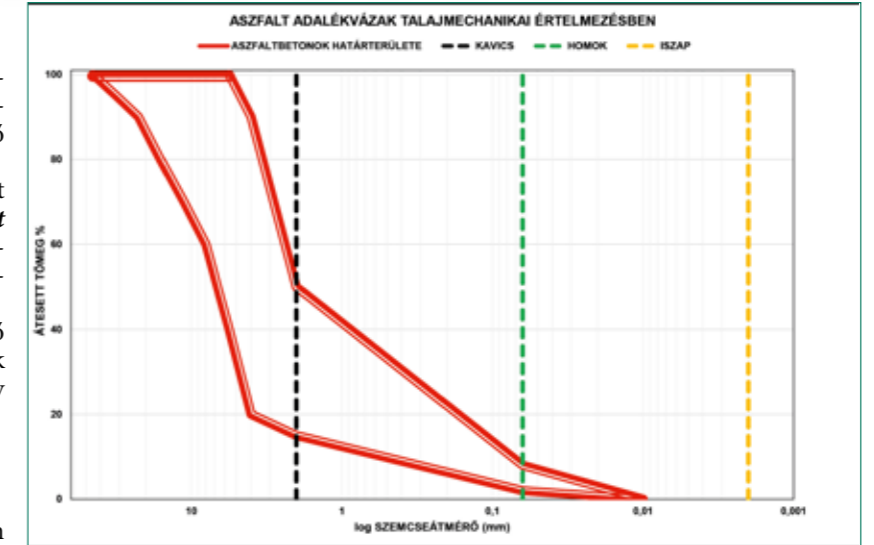
Közös tulajdonságuk, hogy megfelelő fenntartással egyszerűen javíthatók és nem jelentenek azonnali komoly használhatósági korlátot.

2.1.4. Keréknyom

Van olyan burkolathiba amely nagyon jelentős balesetveszélyt és ezáltal nagymértékű használhatatlanságot okoz. (6.)

Ez a hibahalmaz (6. ábra) a keréknyomképződés számos változatát foglalja magába.

Hazánkban nincsenek gyakorlatban előrejelző eljárások, ismert módszer például a teljes pályaszerkezetre is használható Vesys módszer (6), ami szemé – empirikus, viszkózus anyag feltételezésén alapul. Ez utóbbihoz (továbbá az összes viszkózus hipotézissel dolgozó eljáráshoz) azt kell hozzáfűzni, hogy a képek felső sorának két szélén található esetekre képes viszonylag megbízható előjelzést adni, azaz lényegében a hiba korai szakaszára érvényes.

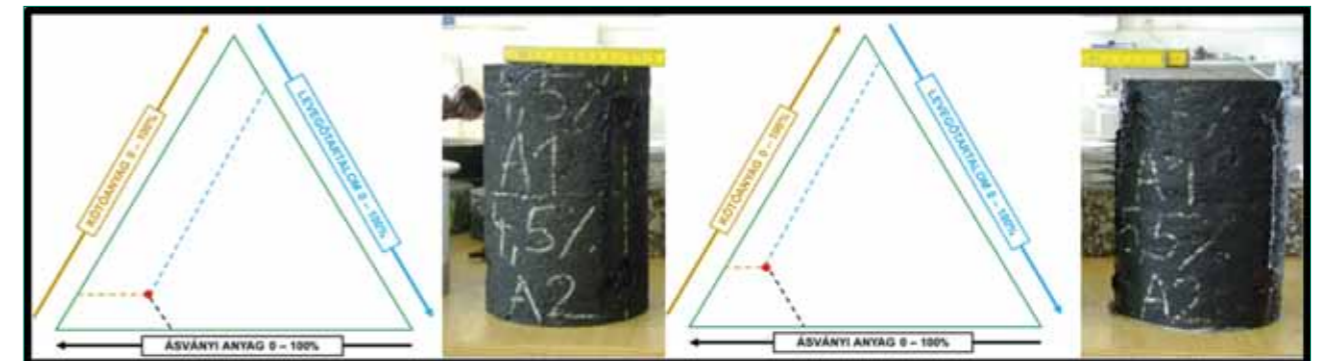


8. ábra

2.2 Összefoglaló

A pályaszerkezeti követelmények mechanikai vonatkozásainak áttekintése után a következők állapíthatók meg:

- a teherbíróképesség és a felületi egyenletesség szempontjából a teljes pályaszerkezet tulajdonságai befolyásolják a követelmények hosszabb távú teljesülését, ebben az aszfaltnak nyilván szerepe van, de külön hatás jelenleg nem vizsgálható



9. ábra



10. ábra

• a burkolatépítésben a repedések hatása jelentős, létezik **viszonylag** kielégítő prognosztizáció, de a hibák hatása időben elhúzódó és van megfelelő javítási lehetőség is

• a keréknyomokban az aszfaltnak nagyon jelentős része van, bekövetkezése nagyon gyorsan forgalombiztonsági kockázatot okoz, a prognosztizáció az empirikus inputok miatt kétséges hatékonyságú

Megállapítható, hogy jelenlegi hazai – de ismereteink szerint a nemzetközi – gyakorlat a szilárdtest feltételezés a rugalmas/viszkózus viselkedéssel nem elégséges hosszabb távon megbízható megoldásokra, szükség van új felfogású fejlesztésekre.

3. A szemcsés anyag koncepció

A hengerelt aszfalt szilárd testként elképzelt anyag törvénye a valós burkolathibák jelentős részében **nem használható**, ezért egy új anyagmodellre van szükség.

3.1. A szemcsés anyag koncepció

A talajmechanikában szemcsésnek tekintjük azt a talajt, amelynek szemcséi száraz állapotban ömleszthető halmazt alkotnak. (7. ábra)

Az ábrán ez a kvalitatív feltétel jól felismerhető. (8. ábra)

Számíthatóbb a következő kritériumellenőrzés a következő ábra szerint, itt a hazai összes aszfaltbeton egyesített határterületét láthatjuk **talajmechanikai** szemeloslási diagramban.

Mindenek arra jogosítanak fel bennünket, hogy az aszfalt mechanikai viselkedését nem kontinuumként, hanem **szemcsés rendszerként** értelmezzük, annak minden következményével.

3.2. A szemcsés rendszerek néhány tulajdonsága

Vizsgáljuk meg a szemcsés rendszerek néhány tulajdonságát az aszfalt szempontjából.

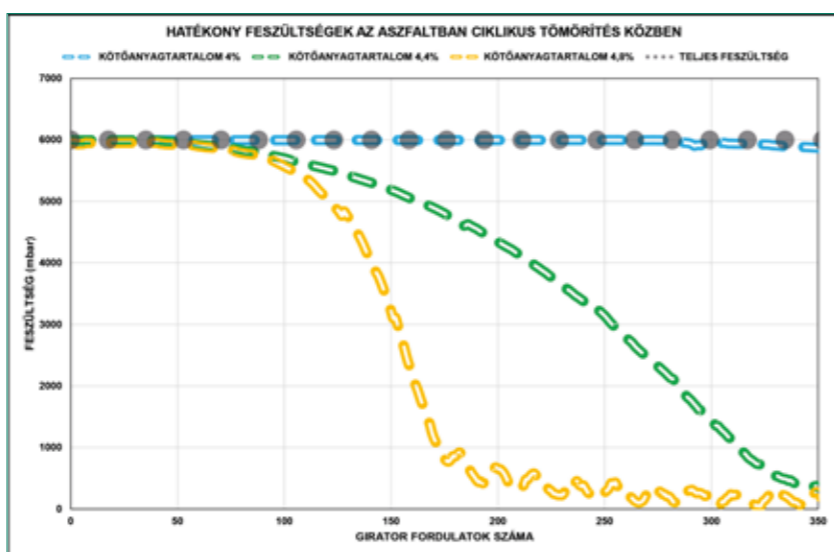
3.2.1. Fázisos összetétel

A szemcsés rendszereket a talajmechanika háromfázisú anyagként fogja föl, szilárd, folyékony és levegőfázis alkotja.

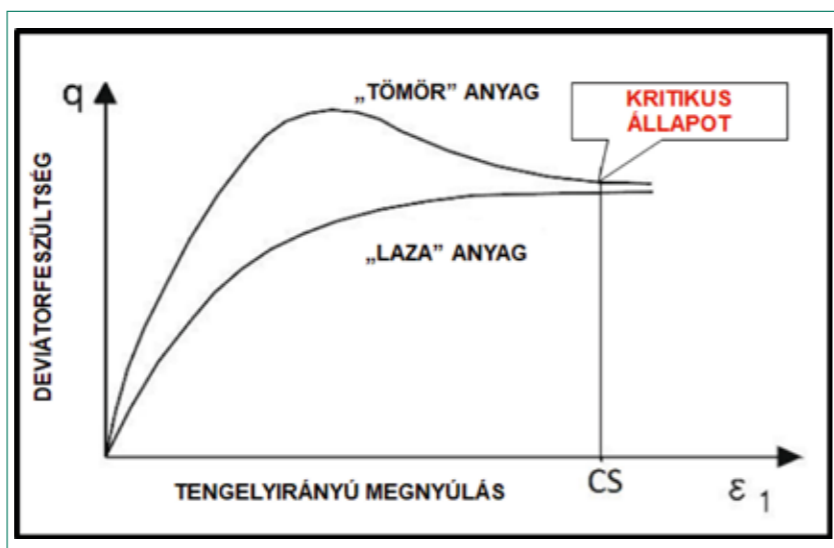
Ezen fázisok relatív mennyisége, a fázisos összetétel (vagy különböző



11. ábra



12. ábra



13. ábra

kombinációik) a szemcsés anyag számos tulajdonságát meghatározzák. (9. ábra)

Emlékezzünk arra, hogy számos aszfaltmechanikai tulajdonság (merevség, fáradási tulajdonság) meghatározására szolgáló regressziós vizsgálatban a szabadhézag kitüntetően fontos szerepet tölt be, a tervezési előírások nagyrészt a kötőanyagtartalom és a **szabadhézag** előírt tartományain alapszanak.

3.2.2. A fázisos összetétel létrejötte

A természetben előforduló rendszereket a természeti mozgások alakítják, a fázisos összetétel ezek hatására alakul ki.

Az aszfalt esetében a fázisos összetétel **tervezett**. Azt, hogy valóban a tervek megfelelően jöjjen létre, azt az adagoláson kívül a **tömörítésnek** kell biztosítani. (10. ábra)

A szükséges (a szükséges aszfalt tulajdonságokat hordozó) fázisos összetétel (tömörítés) elérését jelenlegi gyakorlatunkban a „tervezési” fázisos összetételhez viszonyítjuk, jellemzően annak valamilyen **az egységénél kisebb** arányában. Ennek helytelenségére a későbbiekben még visszatérünk.

3.2.3. A szemcsés rendszerek tönkremenetele

A telített, vagy a telítettség közelében lévő szemcsés talajok jellegzetes tönkremeneteli módja a megfolyósodás, a következő ábrason tanulmányozhatjuk ezt a folyamatot. (11. ábra)

A jelenség a hatékony feszültség elvén alapul, ami szerint a teljes feszültség $\sigma_{összes}$ egyenlő a hatékony feszültség $\sigma_{hatékony}$ és a pórusnyomás u összegével, azaz

$$\sigma_{összes} = \sigma_{hatékony} + u$$

A nyírószilárdsághoz viszont a hatékony feszültség szükséges, Coulomb szerint tisztán szemcsés rendszer esetében:

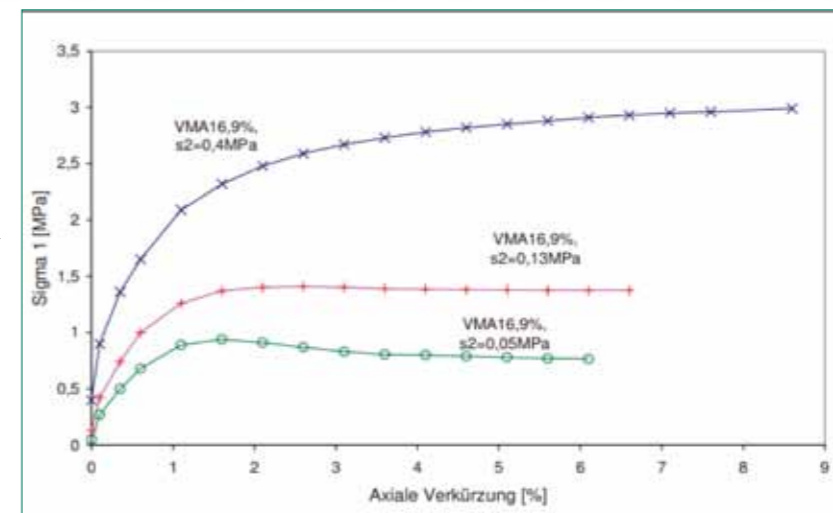
$$\tau = \sigma_{hatékony} \times \tan \varphi$$

A 12. ábrán egy giratorkísérletet látunk, a fordulatok számával (a tömörítéssel) összefügg a hatékony feszültségek – egyben a **nyírószilárdság** – csökkenése, észrevehető, a kötőanyagtartalom szerepe.

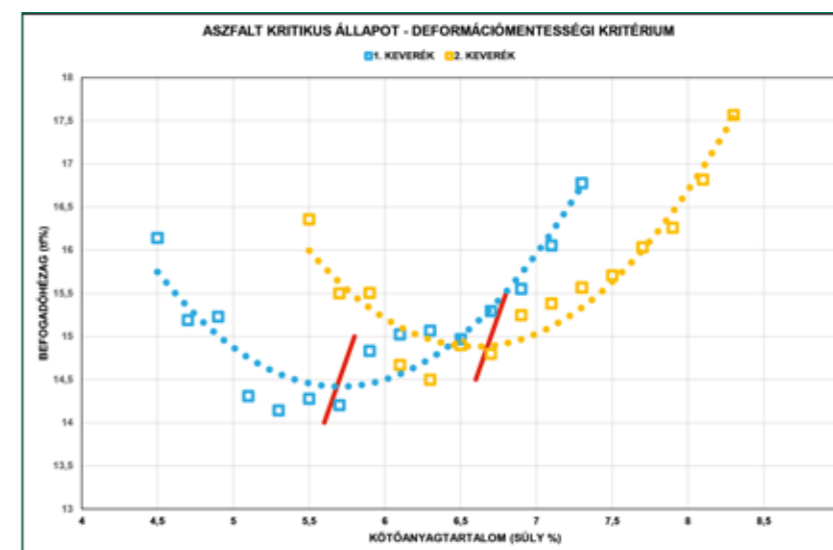
3.2.4. Kritikus állapot

A talajok kritikus állapota a talajmechanika egy viszonylag új szemléletmódja, hazánkban is ismert koncepció. (7)

A koncepció a **megmunkált** (tömörített) talajokra vonatkozik. Kellően nagy nyírási alakváltozás esetén minden talaj, tekintet nélkül kiindulási állapotára (kezdeti hézagtenyező, e_0) elér egy olyan **kritikus állapotba** (kritikus hézagtenyező, e_{kr}), melyben további



14. ábra



15. ábra

térfogatváltozás és nyírófeszültség/normál feszültség változás nem következik be. Aszfaltra értelmezve ez egyszerűen azt jelenti, hogy a kritikus állapotban nincs térfogatváltozás – keréknyomosódás. (13. ábra)

Gajári (8) bebizonyította, hogy az aszfaltra az elmélet igaz. Ennek bizonyítékát láthatjuk a 14. ábrán.

Nos, ez az alapja egy szabadalmaztatott módszernek (Eljárás útépítési aszfalt maradó alakváltozással szembeni ellenállásának javítására. Lajstromszáma: 227471.), amelynek alkalmazásával lehetőség van a megfelelő viselkedésű aszfalt tervezésére.

A szabadalmaztatott módszer tervezési kritériumát a 15. ábrán tanulmányozhatjuk.

A tömörítési kísérlet értékei között látható piros vonal az „optimális” kötőanyagtartalom helyzetét mutatja.

A diagramon két aszfaltkeverékre vonatkozó kritériumteljesülés látható, felismerhető, hogy megfelelő granulometriai beavatkozással (1) lényegesen magasabb kötőanyagtartalom mellett is biztosítható a megfelelő deformációs hajlam. (14. ábra 15. ábra)

Az itt leírtakból már láthatók azok a potenciálok, amelyekkel aszfaltkeverékeink tulajdonságai jelentősen javíthatók.

4. További fejlesztési lehetőségek

Az aszfalt deformálódásának lehetséges elkerülése a további méretezési jellegű anyagkritérium megfogalmazására és kvantitatív meghatározására adja a lehetőséget (alehetséges megoldások terének világos körülhatárolásával). Ezeket a fejlesztési lehetőségeket a továbbiakban röviden felsorolom.

• Eszközök

Mindenek előtt néhány kép a korábbi időszakról, vizsgálati eszközök, módszerek. Itt Gajári kreativitásán túl azonban egy befogadó közeg is kellett, ami megalapozta a sikereket.

Rövid ismertető:

• Bal első kép

A girator tégelyére adaptált pórusnyomás mérő (16. ábra)

• Felső közép két képe

A „befogadócég” négypontos aszfaltgerenda fásasztóra adaptált nyírócella, vizsgálaton átesett próbatestekkel. Az eszköz alkalmas rendkívül gyorsan a deformációs hajlam eldöntésére akár fűrt mintán is.

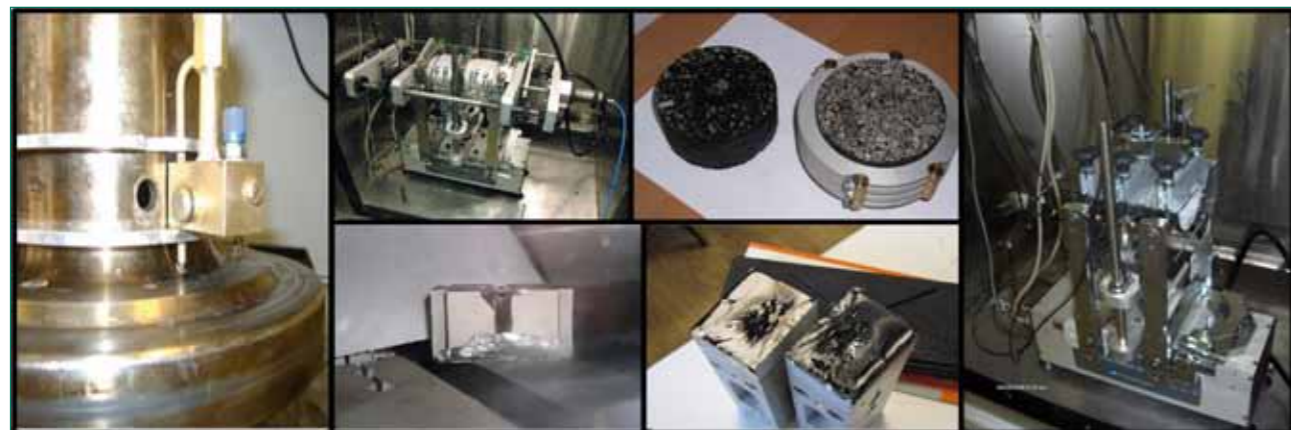
Lehetséges a kötőanyag viszkozitásának vizsgálata is.

• Alsó közép két képe

A négypontos fásasztóra alkalmazható bitumen vizsgáló adapter, a bemetszett próbatest a valós tönkremeneteli szituációt (törésmechanika) modellezi, jól alkalmas a különböző kötőanyagok megkülönböztetésére.

• Jobb oldali kép

A négypontos fásasztóra adaptált félhenger próbatest vizsgáló, segítségével a bonyolult hasáb próbatest készítés egyszerűsíthető, meglévő aszfalt fűrt minta használható. Az alapkészülék képességeivel egyébként részletes reológiai elemzés is készíthető.



16. ábra

Irodalomjegyzék

- [1] Karoliny Márton: Aszfaltkeverék tervezési esettanulmány Az Aszfalt 2019/2
- [2] Karoliny Márton: Útpályaszerkezeti esettanulmányok. A beton vs. aszfalt probléma. Útügyi Lapok 2018 augusztus.
- [3] Molenaar, A.A.A : Structural performance and design of flexible pavements and asphalt concrete overlays. PhD dissertation; Delft University of technology; Delft – 1983
- [4] Horak and all: Determination of pavement number for flexible pavements using FWD deflection bowl information Proceedings of the 34th Southern African Transport Conference (SATC 2015)
- [5] Paterson, W. D. O., "Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management", World Bank Publications, Washington, D.C. 1987.
- [6] Fujie Zhou and Tom Scullion :VESYS5 rutting model calibrations with local accelerated pavement test data and associated implementation FHWA/TX-03/9-1502-01-2
- [7] Andrew Schofield and Peter Wroth: Critical State Soil Mechanics, McGRAW-HILL – LONDON, 1968
- [8] Dipl.- Ing. Gajári György: Modellierung bleibender Verformungen des Asphalts mit einem hypoplastischen Stoffgesetz der Bodenmechanik PHD dissertation. TU Dresden Fakultät Baingenieurwesen, 2012.

• Az aszfalt fáradása

Az aszfalt fáradását kvantitatív módon vizsgálni az aszfalt merevségének csökkenésén keresztül lehetséges. A ma alkalmazott, szilárdtest megközelítés erre csak korlátozottan alkalmas, a viszkohipoplasztikus anyagmodell merevségfogalmán keresztül ez sokkal megbízhatóbban lehetséges, megfelelő fejlesztési feladatok végrehajtásával.

• Méretezési modell

A szilárdságtan eszközei homogén, izotróp, kontinuum jellegű anyagot tételez fel a hajlító jellegű szerkezetigénybevétel vizsgálatánál. Az említett anyagmodellel való számításhoz az ABACUS FEM rendszerét lehet használni.

• A kötőanyag tulajdonságai

Az aszfalt merevségét – mint Gajári kimutatta – a kötőanyagoknak a lehüléssel létrejövő előfeszítő hatása – hozza létre.

Az aszfalt folytonosságának megszűnése – akár a járműterhelésből, akár a lehülésből eredő repedés – kiindulása a törésmechanikai felfogásból eredően a szemcse/kötőanyag meniszkusz nagyon kissugarú területe. Az említett anyagtvény használatával a keletkező feszültség és a repedéssel szembeni ellenállás vizsgálható. Ez lehetőséget ad a kötőanyag tulajdonságok funkcionális elemzésére és megfelelő előírásrendszer kialakítására.

• Újrahasznosítás

A közeli és távolabbi jövő alapvető kérdése (kézenfekvő gazdasági és energetikai okokból) a meglévő aszfaltok nagytömegű újrahasznosítása.

Az előzőkben ismertetett fejlesztések eredményeivel a „receptszerű” megoldásokhoz képest valós mechanikai tulajdonságok tervezett megvalósítását teszik lehetővé.

A digitális viszkohipoplasztikus aszfaltmodell gyakorlati következményei

szerzők: Gajári György, Kisgyörgy Lajos és Mahler András

Dr. Gajári György



nyugalmazott okl. mérnök,
TPA

1. Bevezetés

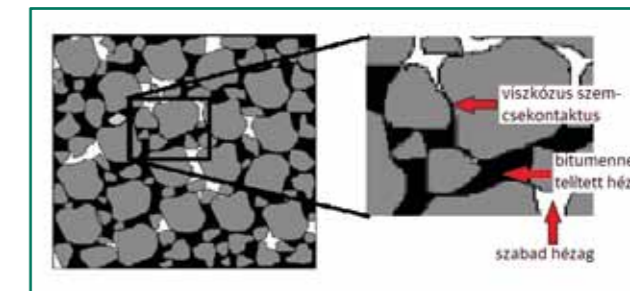
Az „ASZFALT” folyóirat 2022/1 számában „A hengerelt aszfalt viszkohipoplasztikus állandóinak kísérleti meghatározása” címmel beszámoltam hároméves kutatómunkám eredményéről [1]. A mostani cikk ugyanebben a témában íródott, de a lényeges mondanivalót egyszerűbben, szemléletesebben és tömörebben foglalom össze azért, hogy a gyakorlati munkával foglalkozó mérnökök számára érthetőbb legyen.

2. Az anyagmodell kiválasztása

A viszkohipoplasztikus talajmodell matematikai eszközökkel írja le a kötött talajok feszültség-deformáció kapcsolatát, tetszőleges deformációk esetén, három dimenzióban. Ezért nagyon tömören és pontosan leírja a mechanikai viselkedést, úgyhogy vele jobban megérthetjük az anyag viselkedését. Ezt szeretnénk elérni az aszfalt esetén is.

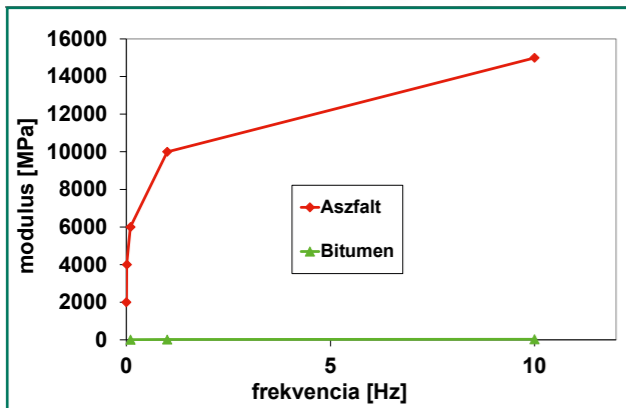
Hogyan jutunk az aszfalttól a viszkohipoplasztikus modellig? Ehhez tekintsük az 1. ábrát, melyen egy idealizált aszfaltmetszetet látunk. A képnek három lényeges eleme van:

- viszkózus szemcsekontaktus,
- szabad hézag és a
- bitumennel telített hézag.



1. ábra

Az első kettő hasonlít a pórusaiban nem telített, de nedves, viszkózus talaj idealizált modelljére, például az iszapára, vagy agyagéra. A maradék alakváltozások a szemcsék egymáshoz való relatív mozgásából adódnak. Ezen relatív mozgások, elcsúszások a szemcsekontaktusokon keresztül valósulnak meg, azok folytonos megszűnésével és keletkezésével járnak együtt. A deformációk viszkózus jellege mindkét esetben magától értetődő, az aszfaltnál a kontaktusok kenőanyaga a bitumen, a kötött talajoknál a víz. A harmadik elemmel, a bitumennel telített hézag mechanikai hatásával kapcsolatban két fontos kísérleti eredményre kell felhívni a figyelmet, melyek vagy ismertek, vagy nem jelentenek különösebb újdonságot, bár kellő figyelmet eddig egyik sem kapott. Egy francia publikáció alapján készült a 2. ábra [3], melyen azt látjuk, hogy 15 Co hőmérsékleten a bitumen modulusa nagyságrendekkel kisebb az aszfalténál.



2. ábra [2][3]

Ez az egyik fontos eredmény. A másíkról informál a 3. ábra [4], ami azt mutatja, hogy a telített hézag, vagyis a bitumen nem összenyomható. A zsirátorral tömörített minták súlyszerűségi bitumentartalma van az x-tengelyen, a befogadó hézaga az y-tengelyen. Az egyenes vonal a bitumen térfogata a minta térfogatának százalékában. A három parabola paramétere a zsirátorfordulatszám, ezek: 68, 134 és 233. A PROCTOR görbéhez hasonlóan itt is létezik egy optimális folyadék (bitumen) tartalom, melynél a köváz relatív a legnagyobb tömörséget éri el, vagyis ahol a legkisebb a befogadó hézag. Ezt nevezzük a továbbiakban optimális bitumentartalomnak. Látható azonban az is, hogy növekvő bitumentartalommal, az optimális érték felett a 134 fordulathoz gyakorlatilag ugyanaz a befogadó hézag tartozik, mint a 233 fordulathoz, vagyis a minta tovább már nem volt tömöríthető. Mivel a befogadó hézag és a bitumentérfogat 1% különbséggel ugyanaz, ezért kimondható, hogy a telített hézag nem tömöríthető, vagyis a bitumen nem tömöríthető. A bitumennel telített hézagra vonatkozó két kísérleti eredményt összefoglalva megállapítható, hogy a bitumen nyíró alakváltozással szembeni ellenállása elhanyagolható, a térfogati merevség viszont végtelenül nagy, mert összenyomhatatlan.

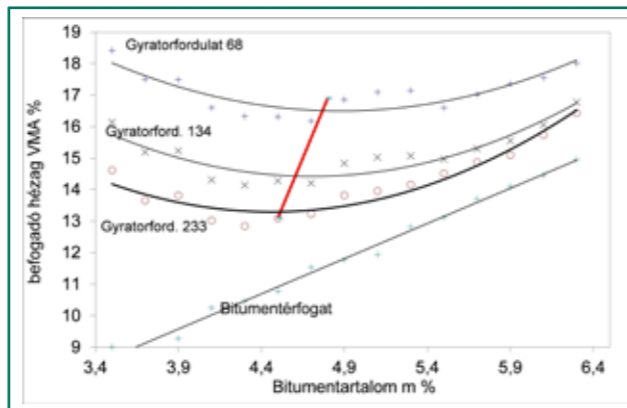
A pórusaiban bitumennel telített aszfalt két anyagi komponense ugyanúgy hat egymásra, mint a pórusaiban vízzel telített viszkózus talajoké.

Kölcsönhatásuknál ezért érvényes TERZAGHI hatékony feszültségek elve:

$$\sigma' = \sigma - u. \quad (1)$$

Itt σ' jelenti a szemcsék közötti ún. „hatékony” nyomást, u a folyadékban ébredő hidrosztatikus „pórusnyomást”, végül σ a „teljes” nyomást.

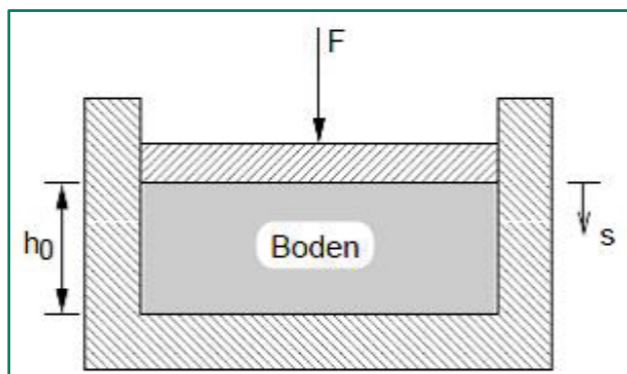
Ezekkel a megállapításokkal igazoltuk az aszfalt és a kötött talajok analógiáját, amivel eljutottunk oda, hogy feltételezhetjük a NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus anyag törvény érvényességét a kötött talajok mellett az aszfaltra is.



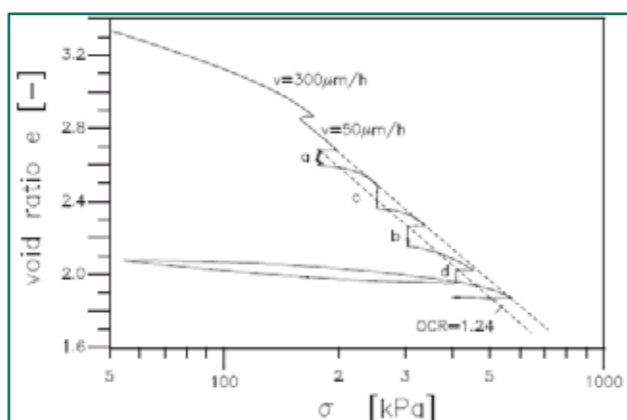
3. ábra [4]

3. Az anyagmodell kísérleti tesztelése

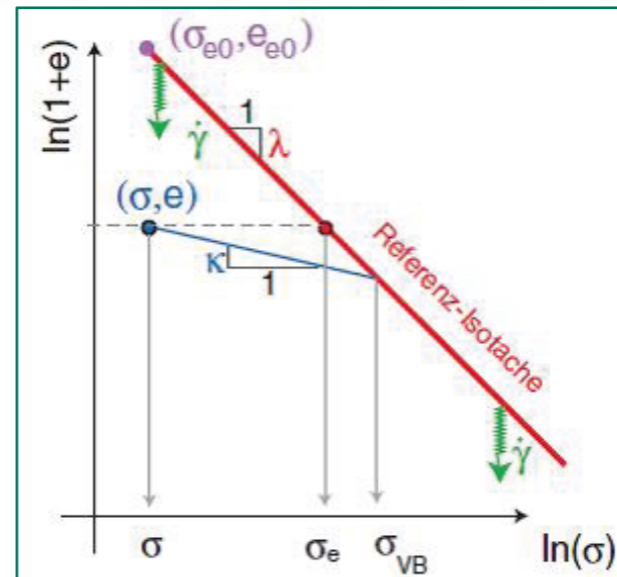
NIEMUNIS a hipoplasztikus talajmodellből kiindulva fejlesztette ki a viszkózus változatot [6]. Ennek alapja egy 1D modell [7][8], amelynek kísérleti megvalósítása az ödométerkísérlet [7]. Az ödométer elvi rajza látható a 4. ábrán, egy szerves iszapon végzett ödométeres tömörítési kísérlet grafikonja pedig az 5. ábrán [7]. Az x-tengelyen a kPa-ban mért vertikális nyomás logaritmus, az y-tengelyen az „e” hézag tényező ($VMA = e/(1 + e)$) látható.



4. ábra [5]



5. ábra [7]



6. ábra [8]

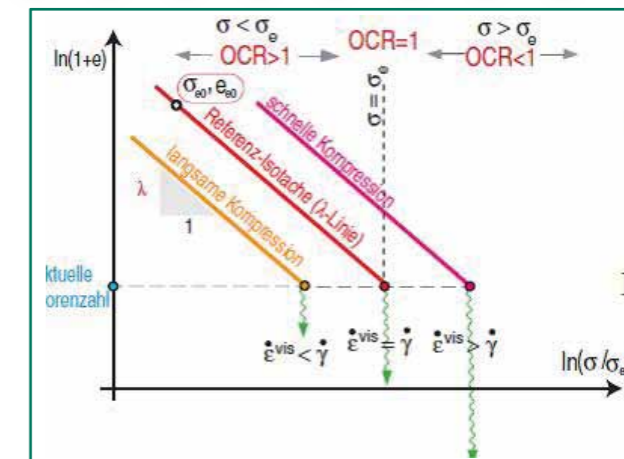
A hagyományos ödométerkísérlet „erő vezérelt”, vagyis az „F” terhelés nagyságát súlyok felhelyezésével növeljük. Az 5. ábrán látható diagramhoz tartozó kísérlet esetében „deformáció vezérlés” történt. A tömörítést végző dugattyú sebességét szabályozták szervohidraulikusan.

Két különböző sebesség értékét tüntették fel az ábrán: a kezdeti érték, melyet -ra csökkentettek. A süllyedési sebesség csökkentésének pillanatában a tömörítési ellenállást jelentő nyomás láthatóan ugrásszerűen csökkent, ami kifejezetten a viszkózus viselkedést mutatja. Az sebességű terhelést rövidebb leterheléssel: „a”; „d”, relaxációval: „b” és kúszással: „c” szakítottak meg. Minden rövidebb megszakítás után, ismét folytatva a terhelést ugyanazzal az sebességgel, a diagram ugyanazon az egyenesen (jobboldali szaggatott vonal) folytatódik.

Megfigyelhető egy másik szaggatott vonallal jelölt egyenes is, melyet az elsőből az értékkel (balra történő eltolással adódik. Itt az „e” hézag tényezőhöz tartozó HVORSLEV féle ekvivalens konszolidációs nyomás az sebességű egyenesen, pedig az újabb egyenes „e” értékéhez tartozó nyomás. Az újabb egyenesről indulva, az aktuális nyomást állandó értéken tartva az „a”; „d”; „b” és „c” -vel jelölt esetben mindig ugyanakkora kezdeti kúszási sebességet mértek (függetlenül a lefutású rövid egyenesek), ami fontos kísérleti eredmény (az 5. ábrán a kezdeti sebesség nem látható). Ezért ugyanakkora kezdeti viszkoplasztikus kúszási sebességhez ugyanakkora feszültségarány (overconsolidation ratio) tartozik, mert a szaggatott vonallal jelölt egyenesek párhuzamosak, vagyis időben a kúszás természetesen csökkenő sebességű, mert az anyag közben tömörödik. Megjegyzés a jelöléshez: a változó felett látható pont a változó idő szerinti deriváltját jelent, tehát például: és.

Az hézag tényező értékénél egy nagy tehermentesítés történt, melynél kis mértékű rugalmas visszalazulás, „duzzadás” jelentkezett. A tömörödés nagy része tehát képlekeny jellegű.

A NIEMUNIS féle 1D viszkohipoplasztikus elmélet anyagállandói, melyek az ödométerkísérlet leírásához kellene, az alábbiak:



7. ábra [8]

- referenciaszámhármass $\sigma_{e0}, e_{e0}, \dot{\epsilon}^{vis} = \dot{\gamma}$, amely a 6. ábrának megfelelően meghatározza az tömörítési referenciaegyeneseinek helyzetét,
- a kompressziós index λ , ami a tömörítési egyenes meredeksége,
- a duzzadási index κ , ami a rugalmas le- és visszaterhelési egyenes meredeksége,

- a viszkozitási index $I_v = \frac{\ln(\sigma_a/\sigma_b)}{\ln(\epsilon_a/\epsilon_b)}$. A viszkozitási index egy hányados. A kísérleti leírásból tudjuk, hogy hirtelen deformációsebességugrás $\dot{\epsilon}_a \rightarrow \dot{\epsilon}_b$ nyomásugrást eredményez $\sigma_a \rightarrow \sigma_b$.

A 7. ábrán különböző $\dot{\epsilon}^{vis} = \dot{\gamma}$ viszkoplasztikus kúszási sebességű tömörítési egyenesek látható. A $\dot{\gamma}$ viszkoplasztikus jellegű kúszási sebesség és a $\dot{\epsilon}$ deformációsebesség között fennáll az $\dot{\epsilon} = \dot{\gamma} \lambda / (\lambda - \kappa)$ összefüggés, ezért a 7. ábrán látható tömörítési egyenesek egyben különböző $\dot{\epsilon}$ tömörítési sebességhez tartoznak. $\dot{\epsilon}$ sebesség szabadon választható, ezért önmagában $\dot{\gamma}$ nem anyagállandó, csak a referenciaértékhármass $\sigma_{e0}, e_{e0}, \dot{\epsilon}^{vis} = \dot{\gamma}$ együttese.

A NIEMUNIS féle 3D viszkohipoplasztikus elmélethez tartozik még egy anyagállandó. Ez az úgynevezett kritikus sűrűdési szög φ_c .

Az aszfalton végzett kísérletekhez különleges berendezésre volt szükség, mert a hagyományos talajmechanikai ödométerben a hengeres oldalfalon nincs kiküszöbölve a sűrűdés, továbbá nem temperálható. Az aszfaltmintákat aszfaltlapokból fűrtük ki. A fűrómagok vizsgálatához alkalmas különleges triaxiális berendezést a Freibergi Műszaki Egyetem kőzetmechanikai laboratóriumában találtak meg. Tulajdonságai:

- temperálható cella,
- néhány MPa nagyságrendű nyomások a cellán belül,
- az oldalirányú alakváltozások mérésével vezérelt oldalnyomás, az ödométerkísérlet megvalósíthatósága céljából.

A berendezéssel meghatározhatóvá vált még a kritikus sűrűdési szög, továbbá az ödométeres tömörítés mellett lehetséges volt a hidrosztatikus (izotróp) nyomáson való tömörítés is. A berendezésről készültek a 8. és a 9. ábrán látható fotók.



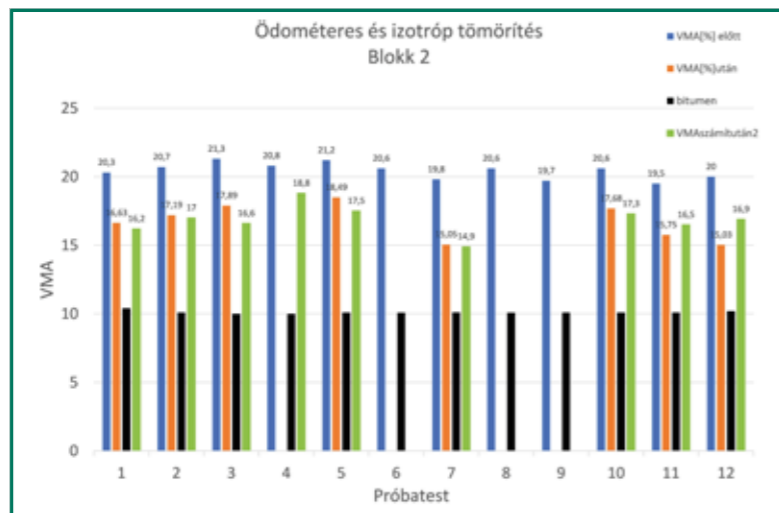
8. ábra



9. ábra

4. A kísérleti eredmények

Az AC 11 (50/70 bitumen) aszfalon végzett kísérletekkel a NIEMUNIS féle viszkohiplasztikus anyagmodell állandóit határoztuk meg. A 2. fejezetnek megfelelően vigyázni kellett arra, hogy a befogadó hézag tömöríthető, vagyis telítetlen maradjon.



10. ábra



11. ábra

Ezért a minták bitumentartalmát 4,5 %-ban korlátoztuk. A 10. ábrán a fekete színezésű oszlopok mutatják, hogy a mintatest térfogatának 10 %-át foglalja el a bitumen, míg a befogadó hézag a mintatest térfogatának ≈ 20 %-a, a hézagok telítettsége így csak ≈ 50 %. A sárga oszlopok a tömörített minták befogadó hézagterfogatát mutatják mérés alapján, míg a zöldek a deformáció alapján számítottat reprezentálják.

A 11. ábra egy ödométeresen tömörített minta fotója. Látható, hogy a minta átmérője változatlan maradt, miközben a minta ≈ 3 mm-t rövidült. A henger alakú minták eredeti magassága 100 mm, átmérője 50 mm volt.

A 12. ábrán láthatóak azok a kísérleti eredmények, melyek alapján a kritikus súrlódási szög φ_c kivételével a többi viszkohiplasztikus anyagállandó meghatározásra került. A három különböző szín a különböző hőmérsékleteket jelöli. Piros: 60 °C, zöld: 30 °C, sötétkék: 23 °C.

A legnagyobb tömörséget (legkisebb „ $\ln(e + 1)$ ” értékek) az izotróp tömörítéssel (piros D602-7 jelű kísérlet) érték el. A többi kísérlet ödométeres tömörítés volt. Látható, hogy az izotróp tömörítés leterhelési (rugalmas) szakasza nagyobb meredekségű, mint az ödométeres le- és visszatérhelési szakaszok. Ez megfelel NIEMUNIS modelljének [6]. A viszkohiplasztikus szakaszok azonban mindkét tömörítési fajtánál azonosak.

A „deformáció vezérlésű” ödométeres tömörítésnél a tengelyirányú deformációsebesség $\dot{\epsilon} = 10^{-5}$ /sec. Rövidebb időre volt ettől ugrásszerűen 10-szer kisebb, illetve 10-szer nagyobb eltérés. Az ugrásszerű sebességváltozás látható a görbék lefutásán, a nyomások is ugrásszerűen csökkentek, vagy nőttek.

A viszkozus tulajdonságok hőmérsékletfüggése is látható. Egyrészt a sebességváltásokkor bekövetkező feszültségváltozások nőnek, ha csökken a hőmérséklet. Másrészt azonos sebességek esetén nő a tömörítéshez szükséges nyomás, ha csökken a hőmérséklet. E jelenségek szerint csökkenő hőmérséklettel nő a viszkozitás és fordítva.

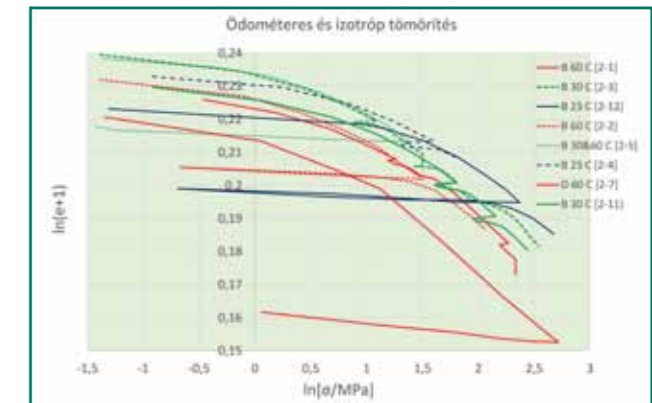
A viszkohiplasztikus anyagállandókat az 1. táblázat tartalmazza.

A viszkozitási index reciproka $1/I_v = n$ a NORTON kitevő. NIEMUNIS a szerves iszapnál ezt az értéket $n = 20$ nagyságúnak találta [7]. Ez aszfalt esetében kb. 45 °C hőmérsékletnél várható érték. Egyik korábbi cikkünkben irodalmi adatok alapján $n = 4$ értéket adtunk aszfaltra, de hőmérsékleti adat ehhez nem társult [2].

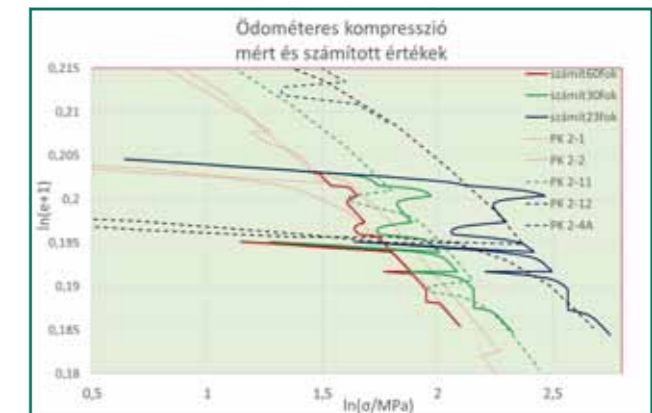
Méréseink alapján ez az érték kisebb mint 20 °C-nál lehet helyes érték az általunk vizsgált aszfaltra.

1. táblázat

paraméter	szimbólum	számérték			
		-	23°C	30°C	60°C
súrlódási szög	φ_c [°]	43			
duzzadási index	κ [-]	0,003			
kompressziós index	λ [-]	0,03465			
viszkozitási index	I_v [-]		0,122	0,082	0,032
Norton kitevő	$1/I_v = n$ [-]		8	12	31
$\dot{\gamma}$	[1/sec]		9,1342E-06		
e_{e0}	[-]		0,217 (VMA=17,8 %)		
σ_{e0}	[MPa]		10,31	6,84	5,60



12. ábra



13. ábra

5. 1D numerikus szimuláció

Bár már a 12. ábra szerint is megállapítható, hogy a 2. fejezetben feltételezett, az aszfalt és a viszkózus szerves iszap közötti analógia igazoltnak tekinthető, egy numerikus szimulációval az igazolás tényét megerősítettük.

A szimulációt a [7] irodalom alapján végeztük az 1. táblázat anyagállandói segítségével. Az 1D szimuláció eredménye látható a 13. ábrán.

A mért és számított viselkedés összevetéséből megállapítható, hogy:

- a rugalmas le-és visszaterhelés esetén a számított görbe és a kísérleti görbe meredeksége egybeesőnek minősíthető; a viselkedés a kísérleti és számított esetben a hőmérséklettől és a deformációsebességtől független,
- a viszkoplasztikus tömörítési egyenesek mért és számított meredeksége egybeesőnek minősíthető,
- a viszkozitás hőmérsékletfüggése ugyanúgy visszatükröződik a számított viselkedésben, mint a kísérletiben; mert egyrészt a deformációsebességváltásokkor bekövetkező feszültségváltozások nőnek, ha csökken a hőmérséklet, másrészt azonos sebességek esetén nő a tömörítéshez szükséges nyomás, ha csökken a hőmérséklet; számított esetben csökkenő hőmérséklettel relaxáció esetén (időben állandó deformáció tartás) nő a nyomáscsökkenés, kúszás esetén (időben állandó nyomás tartás) nő a kúszás okozta tömörödés.

A NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus modell matematikai megfogalmazása az alábbi három egyenlet [6]. A numerikus szimuláció ezeknek az egyenleteknek a segítségével (programozásával) készült.

$$\dot{\varepsilon}^{vis} = \dot{\gamma} \left(\frac{\sigma}{\sigma_e} \right)^{1/I_v} = \dot{\gamma} \left(\frac{1}{OCR} \right)^{1/I_v} \quad (2)$$

$$\dot{\sigma} = \frac{\sigma}{\kappa} (\dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}^{vis}), \quad (3)$$

$$\dot{\sigma}_e = \frac{\sigma_e}{\lambda} \dot{\varepsilon}. \quad (4)$$

Belátható, hogy az egyenletek fizikai tartalma összhangban áll a 3. fejezetben leírt kísérleti eredményekkel. Az egyenletek fizikai (mechanikai) jelentése az alábbi:

- a (4) egyenletből integrálással következik a 6. és 7. ábrán látható viszkoplasztikus tömörítés egyenlete $\ln \left[\frac{1+\varepsilon_0}{1+\varepsilon} \right] = \lambda \ln \left[\frac{\sigma}{\sigma_0} \right]$, melynek meredeksége λ ,
- az (2) egyenlet a nemlineáris viszkozitás megfogalmazása, kapcsolatot teremt a σ feszültség és a $\dot{\varepsilon}^{vis}$ deformációsebesség között a $\dot{\gamma}$ és σ_e referenciaértékek segítségével; $\frac{1}{I_v} = n$ anyagállandó (de hőmérsékletfüggő) a NORTON folyási szabály hatványkitevője,
- a (3) egyenlet egy MAXWELL test egyenlete, átalakítva: $\dot{\sigma} = \frac{\sigma}{\kappa} \dot{\varepsilon} - \dot{\varepsilon}^{vis}$; a jobb oldalon álló első tagot integrálva kapjuk a 6. ábrán látható rugalmas le-és visszaterhelés egyenesének egyenletét $\ln \left[\frac{1+\varepsilon_0}{1+\varepsilon} \right] = \kappa \ln \left[\frac{\sigma}{\sigma_0} \right]$, melynek meredeksége κ ; $\dot{\varepsilon}^{vis}$ a rugalmas elemmel sorba kapcsolt viszkoplasztikus elem deformációsebessége,

mely a rugalmas elembe uralkodó $\dot{\sigma}$ nyomásváltozást csökkenti.

Az 1D szimuláció segítségével kétséget kizáróan igazoltuk a NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus elmélet érvényességét aszfaltra. Elmondható, hogy az egy viszkózus kőváz, akár a kötött talajok.

6. A gyakorlati következmények

Elérkeztünk a cikk fő mondanivalójához, ami a hétköznapi gyakorlatot és az innováció irányát jelenti. Az igazolt viszkohipoplasztikus anyagmodell alapvetően változtatja meg az aszfaltról alkotott mechanikai elképzelést. Ennek a gyakorlatban is gyökeres változásokat kell okoznia, melyek:

- az optimális bitumentartalom,
- a nagy tömörség,
- és a fáradás, hidegviselkedés

fogalmakkal kapcsolatosak. Az igazolt modelltől levezetett gyakorlati változtatásokról várható, hogy velük kijavíthatóak az aszfaltburkolatok esetén megfigyelhető, nem kívánt rövid élettartamot okozó jelenségek. Az anyagmodell ugyanis lehetővé teszi a jelenségek megértését.

A szerző hangsúlyozni kívánja, hogy a következtetések indoklottsága az igazolt modell eredménye, vagyis az igazolt modell nélkül a következtetéseket nem kellene feltétlenül elfogadni, mint ahogy ez eddig nem is történt meg.

Az első fontos gyakorlati kérdés a keverék „**optimális bitumentartalmával**” kapcsolatos [9]. A 2. fejezetben a zsirátoros tömörítés eredményeként megállapítottuk, hogy az optimális értéket meghaladó bitumen telített hézagokat okoz és ekkor az aszfalt nem tömöríthető. Terheléskor érvényes TERZAGHI (1) hatékony feszültségek elve, vagyis a pórusnyomás csökken a hatékony nyomást. A 4. fejezet szerint elkerültük azt, hogy a pórusok bitumennel telítődjenek, a pórusnyomás zérus maradt. Az igazolt viszkohipoplasztikus modell tehát a hatékony feszültségekre igaz.

A (3) egyenletben szereplő $\left[\frac{\sigma}{\sigma_e} \right]$ rugalmas modulusban a σ teljes nyomás egyenlő a hatékony $\sigma = \sigma'$.

Ha az optimális érték felett adagoljuk a bitumennel, akkor a tömörödési hajlam és terhelés következtében megnő a pórusnyomás, vagyis csökken a hatékony nyomás és a (3) egyenlet miatt a merevség, vagy másként a modulus is. A [4] munkában ezt a következményt kísérletileg is igazolta a szerző. Ezzel mechanikailag igazolt magyarázatot kaptunk a nyomvályú jelenségére. Ezzel szemben mi a mai gyakorlat és az hogyan változtatandó a modell szerint?

Az UME (Útgyi Műszaki Előírás) szerint egy AC 11 típusú aszfaltba legalább 5,3 (tömeg) % bitumennel kell beletenni. A 3. ábrán látható tömörítési diagram szerint az aszfalt a mintatest térfogatának 13 %-át foglalja el, miközben 233 zsirátorfordulattal az 14 % befogadó hézagig tömörödik. Gyakorlatból tudjuk, hogy a MARSHAL tömörítővel ugyanez a minta kb. 16 % befogadó hézagig tömörödik.

Az UME szerint előírt bitumentartalom a MARSHAL tömörség esetén a befogadó hézag 81 %-át telíti. A 3. ábrán

az is látható, hogy a bitumen már ennél a tömörségnél is akadályozza a tömörítést, a pórusnyomás már ennél a tömörségnél is elkezd nőni. Mindez azt jelenti, hogy az UME által minimálisan előírt bitumentartalommal előíródik a nyomvályú kialakulására való hajlam. Megjegyzendő, hogy az SHRP amerikai aszfalttervezés szerint a megengedett legnagyobb telítettség 75%.

Hazánkban, de egész Európában szokás lett a modifikált bitumenekkel való védekezés a nyomvályú kialakulása ellen. Bár ez sikeresnek mondható, jelentkezett azonban egy másik nemkívánt jelenség: a rossz hidegviselkedés és a repedésérzékenység. Hogyan változtatandó a gyakorlat az anyagmodell szerint?

A nyomvályú elleni védekezés a modell szerint egyedül az optimális bitumentartalom betartásával lehetséges [9]. A vizsgált aszfalt esetében a 3. ábra szerint az adott kőváz és szemeloszlás ezen értéke 4,25 % - 4,5 %. Ekkor a bitumen a 233 zsirátorfordulattal tömörített aszfaltminta 10,5 % - 11 % térfogatát foglalja el.

MARSHAL tömörség esetén a 16 % százalékos befogadó hézagból ekkor $\approx 5,5$ % - 5 % hézag marad szabadon. Ha 3 % - 4 % szabad hézagot tartanánk az öregedés miatt ideálisnak, akkor intenzívebb beépítési tömörségre kell törekednünk.

Egy másik lehetőség az optimális bitumentartalom megemlése, ami a szemeloszlás megváltoztatásával és a BAILEY módszer alkalmazásával lehetséges [11]. Hazánkban egyedül a szerző szerzett tapasztalatokat e módszerrel kapcsolatban. Tapasztalatai szerint a vizsgált kőváz esetében nem volt könnyű az optimális bitumentartalom értékét 5 %-ra felemelni [12].

Fel kell tehát készülni a relatívalacsony bitumentartalom és intenzívebb tömörítés alkalmazására, ami megfelel RICHTER ajánlásának [10].

Ezzel elérkeztünk a „**nagy tömörséghez**”, mely egy másik szempont szerint is célszerű. Az előző fejezetből tudjuk, hogy az aszfalt egy MAXWELL test, melynek merevségét a (3) egyenlet adja meg.

A merevség annál nagyobb, minél nagyobb a $\dot{\sigma}$ feszültségváltozás egy adott $\dot{\varepsilon}$ deformációváltozáshoz, továbbá minél kisebb a közben bekövetkező $\dot{\varepsilon}^{vis}$ viszkoplasztikus kúszás. $\dot{\varepsilon}^{vis}$ akkor kis értékű, ha nagy a viszkozitás.

A nemlineáris viszkozitást a (2) egyenlet írja le, mely szerint $\dot{\varepsilon}^{vis}$ annál kisebb, minél nagyobb a σ_e HVORSLEV féle ekvivalens konszolidációs nyomás. A (4) egyenlet következményeként σ_e ekvivalens konszolidációs nyomás a tömörséggel nő. Végeredményben a tömörség növeli a viszkozitást és ezzel együtt az aszfalt komplex modulusát, mégpedig lineárisnál erősebben, a NORTON szabályszerint.

Nem szükséges a bitumen viszkozitásának növelése ahhoz, hogy növeljük az aszfalt merevségét. A viszkohipoplasztikus anyagmodell megmutatja, hogy hogyan válik a két anyagi komponensből egy harmadik anyag, amely nem a két komponens összegéből áll elő. A normál útépítési bitumennel elérhetjük ugyanazt a viszkozitást, mint a nagy modulusú modifikált bitumenekkel.

Eljutottunk „**fáradási, hidegviselkedési**” tulajdonsághoz. A 2. fejezet 2. ábrájában látható az aszfalt és a bitumen modulusa közötti óriási különbség. A modellválasztáskor elhanyagoltuk a bitumen modulusát, arra azonban még nem adtunk magyarázatot, hogy külső nyomás hiányában honnan ered az aszfalt nagy modulusa.

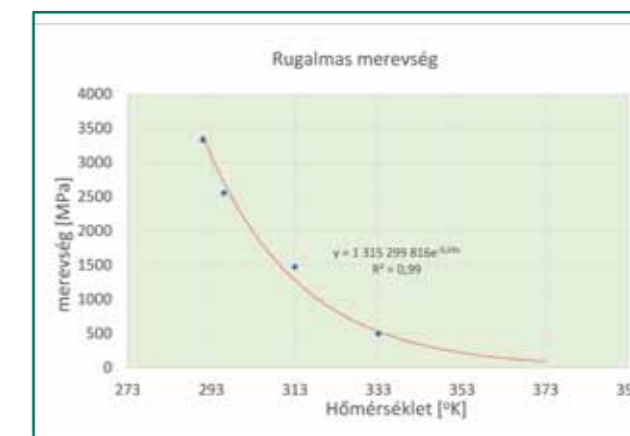
Ismét a (3) egyenlethez kell visszatérni, mely szerint a $\left[\frac{\sigma}{\sigma_e} \right]$ rugalmas modulus csak a σ hatékony nyomás tudja létrehozni.

Nedves talaj esetén a kapilláris feszültségek negatív pórusnyomást, vagyis húzófeszültséget okoznak a vízben.

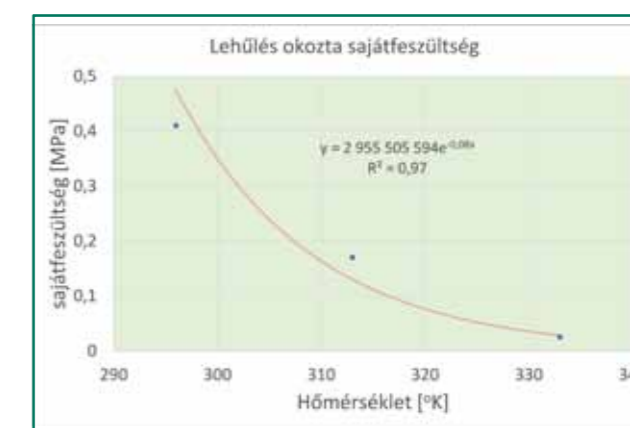
Külső terhelés hiányában (1) egyenlet alakja az alábbi:

$$\sigma' = -u,$$

vagyis a negatív pórusnyomás az ásványi vázban nyomást okoz. Az analógiára alapozva feltételeztük, hogy az aszfalt kővázában hidrosztatikus nyomás jön létre, amit a bitumen lehűlés okozta zsugorodása okoz. Mérés útján sikerült e feltételezést igazolni.



14.ábra



15.ábra

A 14. ábrán látható a mért rugalmas modulus, a 15. ábrán az abból számított sajátfeszültség. Rövid magyarázat a mérések elvéhez. A (3) egyenlet által leírt MAXWELL test $\left[\frac{\sigma}{\epsilon}\right]$ rugalmas modulusa megmérhető, ha biztosítjuk, hogy $\epsilon^{vis} = 0$ legyen. Egy gyors terhelésváltozás, például deformáció sebességugrás esetén ez fennáll. Ekkor a $\dot{\sigma}$ feszültségváltozás kizárólag a rugalmas elem $\dot{\epsilon}$ deformációváltozásának következménye. Ezen az elven működik a „dinamikus hasítás” is az aszfaltlaborban. Egyszerűség kedvéért mi a méréshez az egytengelyű nyomást használtuk, amit a Braunschweigi Egyetem aszfaltmechanikai laboratóriumában végeztünk el.

A 14. ábra az erős hőmérsékletfüggést mutatja. A sajátfeszültség kiszámításához kihasználtuk, hogy a $\left[\frac{\sigma}{\epsilon}\right]$ rugalmas modulus 3D esetben arányos a $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ átlagos nyomással. Egy triaxiális törésnél, ahol elhanyagolható volt a sajátfeszültség, a külső átlagnyomás pedig $p = 2,68 \text{ MPa}$, a rugalmas modulus értékét $10\,662 \text{ MPa}$ -nak mértük. Aránypár segítségével kiszámítható volt a 14. ábrának megfelelő sajátfeszültség (15. ábra).

A modellel bizonyítottuk, hogy a „nagy modulus” nagy húzófeszültségeket jelent a bitumenben. ARAND kísérleti úton megmutatta, hogy a járművek haladási irányával párhuzamos felületi repedések a hidegben bekövetkező fáradási repedések [13].

Ehhez a fáradást okozó periodikusan ismétlődő terhelést a lehülés okozta statikus húzásra szuperponálta. A fáradási vizsgálatokat sem a hőmérsékletet, sem a mechanikai igénybevételt illetően nem így végezzük hazánkban.

A nagy modulusú bitumenek és aszfaltok alkalmazásának eredményét az erősen repedezett aszfaltburkolatokon sok helyen megfigyelhetjük.

Bár gyakorlati jelentősége nincs, mert a méretezés még nem gyakorlat, a nemzetközileg részben elfogadott koncepció helyessége a sajátfeszültség miatt kérdéses. ARAND véleményével szemben sokan a járműkerék alatt, az aszfaltburkolat alsó szálában fellépő húzott zónát tekintik a fáradás szempontjából mértékadónak. Ha igaz az, hogy a keréknyomomban utótömörödést lehet mérni, akkor ez az elképzelés helytelen, hiszen a tömörödés relatív nyomásváltozást okoz a pórusfolyadékban, vagyis a bitumenben, tehát leépül a hidrosztatikus húzás, ezzel a fáradást okozó igénybevétel. E jelenséget a térfogatváltozást is helyesen modellező 3D érvényességű anyagmodell numerikus alkalmazásával lehet korrekt módon szimulálni.

7. Összefoglalás

A szerzők a NIEMUNIS féle viszkohipoplasztikus anyagmodell érvényességét igazolták kísérleti eredményekkel és egy numerikus szimulációval az AC 11 típusú aszfaltra. Az új modell segítségével egy konzisztens mechanikai kép alakult ki az aszfalt mechanikai viselkedéséről, mellyel megalapozott magyarázatok adhatók a gyakorlatban megfigyelt jelenségekre. A modell alapján gyakorlati módosításokat javasoltak a:

- keveréktervezésre,
- a beépítési tömörségre és
- az alkalmazott bitumenek minőségére

vonatkozóan. A további innovációk szükségessé teszik a mechanikailag alátámasztott, anyagmodell alkalmazását.

Irodalomjegyzék

- [1] Gajári Gy. Kisgyörgy L. Mahler A. A hengerelt aszfalt viszkohipoplasztikus anyagállandóinak kísérleti meghatározása. Az Aszfalt 2022/1. 9-20. oldal
- [2] Gajári Gy. A hengerelt aszfalt, mint részben telített, lehülés okozta izotróp sajátfeszültséggel bíró szemcsés anyag, viszko-hipoplasztikus anyagmodellje. Az Aszfalt 2019/1. 58-72. oldal
- [3] 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 Sao Carlos Mar/Apr 2015 <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.332214>
- [4] Gajári Gy. Modellierung bleibender Verformungen des Asphalts mit einem hypoplastischen Stoffgesetz der Bodenmechanik (Az aszfalt maradó alakváltozásainak modellezése a talajmechanika egy hipoplasztikus anyag törvényével) Doktori disszertáció, Drezda 2012
- [5] W. Fellin. Ein erster Einblick in die Hypoplastizität. ÖIAZ, 144 Jg. Heft 11-12/1999 S. 434-436.
- [6] A. Niemunis. Extended hypoplastic models for soils, Dissertation submitted for habilitation, Bochum, January 2002
- [7] A. Niemunis, S. Krieg: Viscous behaviour of soil under oedometric conditions, 19.01.1995
- [8] A. Niemunis, F. Prada: 1D Visko-plastizität des Bodens IBF Karlsruhe, BM III, 13. Dezember 2018
- [9] A 227471 lajstromszámú magyar szabadalom (Jogutódlás: Szabadalmi Közlöny és Védjegyterjesztő 2012.07.30.): „Eljárás útépítési aszfalt maradó alakváltozással szembeni ellenállásának javítására”, Közzététel: Szabadalmi Közlöny és Védjegyterjesztő 2009.04.28.
- [10] E. Richter. Nagytömörségű aszfalt. Az aszfalt XXVI. 2018/1.
- [11] Aurilio V., Pine W.J., Lum P. The Bailey Method achieving volumetrics and HMA Compactibility. 50. Asphalt Institute Ontario s. 159-184
- [12] Gy. Gajári, F. Wellner, I. Herle. Das mechanische Verhalten des Walzasphalts bei 60 oC unter zyklischer Belastung, Straße und Autobahn 1.2016 S 7-18
- [13] W. Arand: Ermüdung von Asphalten bei Kälte. (Aszfaltok fáradása hidegben) TPA (STRABAG) konferencián elhangzott előadás, 2007, április 5, Visegrád

Funkcionális aszfaltadatlékok a tartós, fenntartható és környezetbarát utakért

Bernd Abele

Project manager,
Rettenmaier GmbH & Co.KG



Fodor Péter

kereskedelmi képviselő
Rettenmaier GmbH & Co.KG



Mi a fenntarthatóság?

Számos tudós és szakértő elemezte már ezt a kérdést. Talán az egyik legcélravezetőbb meghatározás a következő: „A jelen generáció szükségleteinek kielégítése anélkül, hogy a jövő generációját veszélybe sodornánk” – Brundtland Commission, 1987.

Kormányok, nemzetközi egyezmények (Kyoto Protokoll, EU 2050 klímasemlegességi terve) foglalkoznak évtizedek óta ezzel a témával. Konkrét célokat (pl: CO2 kibocsátás kvóta) határoznak meg, ösztönzik az ipari szereplőket ezek elérésére. Ezen folyamatokkal összefüggésben indult meg az aszfaltipar fenntarthatóbb technológiáinak fejlesztése is.

A Rettenmaier cég több, mint 140 éve gyárt megújuló forrásból származó, természetes alapú, funkcionális adalékanyagokat számos iparág, többek között az útépítő ipar számára. Kijelenthető, hogy a fenntarthatóság, megújuló alapanyagok széleskörű használata a cég „génjeibe van kódolva”.

Ehhez a filozófiához kapcsolódik a cég két, az aszfaltiparban egyre inkább meghatározó technológiai megoldása: A Viatop Plus RC rejuvenátor, illetve a WMA technológiában alkalmazott Viatop Plus CT pelletált adalékanyag.

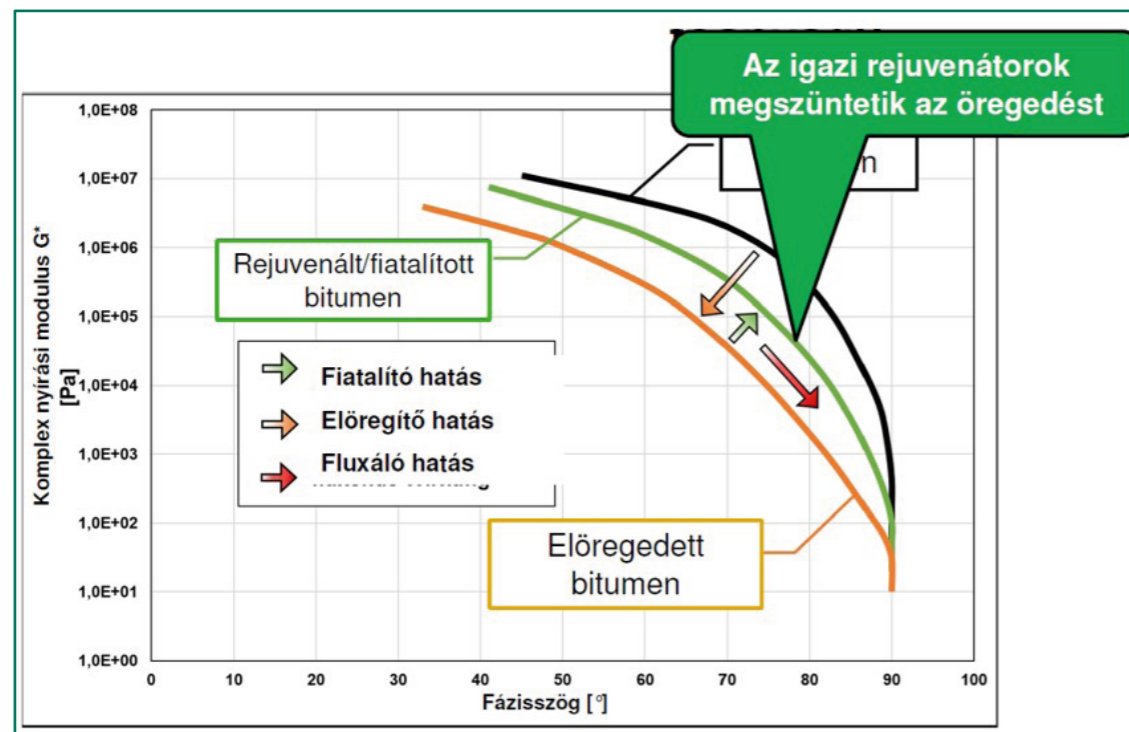
Az első pillér:

Bontott aszfalt újrahasznosítása rejuvenátorok segítségével

Mik valójában egy igazi rejuvenátor funkciói?

A rejuvenátorok elsődleges szerepe az előregedett kötőanyag fizikai és reológiai jellemzőinek visszaállítása az aktuális kötőanyagspecifikációk követelményei szerint. Ezenkívül fontos, hogy a rejuvenátor aktiválja az előregedett kötőanyagot, ne csak lágyítsa azt. Továbbá célja megszüntetni/csökkenteni a repedéseket is. Fontos, hogy javítsa az előregedett kötőanyag relaxációs, kohéziós és tapadási tulajdonságait. A Viatop Plus RC képes erre, szemben a lágyítókkal, valamint az ún. fluxáló olajokkal, amelyek nem képesek a reológiai tulajdonságokat visszaállítani, illetve a repedési hajlamot javítani.

A Viatop Plus RC pelletált formájának köszönhetően beruházás nélkül, a már meglévő adagolási technológia alkalmazásával rövid időn belül alkalmazható. Esetünkben egy ténylegesen zöld termékről beszélhetünk, nem vízzennyező, nincsenek benne veszélyes anyagok, ezért nincs címkézési kötelezettség sem.



A második pillér:

A mérsékelt meleg aszfalt (WMA)

A másik kiemelten fontos téma amikor károsanyag kibocsátás csökkentéséről, energiatakarékosságról beszélünk, az a hőmérséklet csökkentett aszfalt (WMA). Egy olyan aszfalt-típusról beszélünk, amit a hagyományos (HMA) eljárásához képest 20–40 °C-kal alacsonyabb hőmérsékleten gyártanak és építenek be. A hagyományos keveréket magas hőmérsékleten (150 °C és 190 °C között) állítják elő, az alkalmazott aszfaltkötőanyag típusától függően. Az építési területen a keveréket magas hőmérsékleten (120–140 °C) terítik és tömörítik. Ezen folyamatok alatt összetett gázok keveréke kerül a légkörbe és nagy mennyiségű energia fogy el.

A technológia nem újkeletű, már a '90-es években kísérleteztek vele. Az USA-ban kifejezetten nagy népszerűségnek örvend (napjainkban a teljes aszfaltgyártás 40%-a WMA), továbbá Európában is egyre inkább elterjedt, túlnyomórészt Norvégiában, Franciaországban. Különösen figyelemre méltó a hatalmas növekedés Norvégiában, ahol a WMA termelés 2020-ban közel négyszerese volt a 2016-os értéknek. Azonban ezen tendencia ellenére Európa továbbra is csekély WMA termelést produkál (2020-ban mindössze 8.5 Mt).

A WMA technológiákhoz kifejlesztett Viatop Plus CT termékcsalád három különböző összetételű anyagból áll. A szálasanyag- és az FT viasz tartalom változik az éppen aktuális alkalmazási célhoz igazodva. A pelletben található Fischer-Tropsch paraffinok hosszú láncú alifás szénhidrogének, amelyeket katalitikus folyamat során állítanak elő. Az FT paraffinok a bitumenben teljesen homogén módon oldódnak, csökkentik annak viszkozitását. Lehűlés közben az FT paraffinok kikristályosodnak, amely stabilitást és deformációállóságot eredményez.

Aszfaltgyártás energiaigénye

Az aszfaltkeverékek előállításához szükséges energia túlnyomórészt az aszfaltkötőanyag melegítése, az ásványi adalékanyagok szárítása és a keverés során kerül felhasználásra. Egy 2022-es tanulmány megállapította, hogy a szárítási és fűtési folyamathoz 70-100 kWh energia szükséges tonnánként, míg az aszfaltkeverékek szállításához és tárolásához mindössze 5-8 kWh.

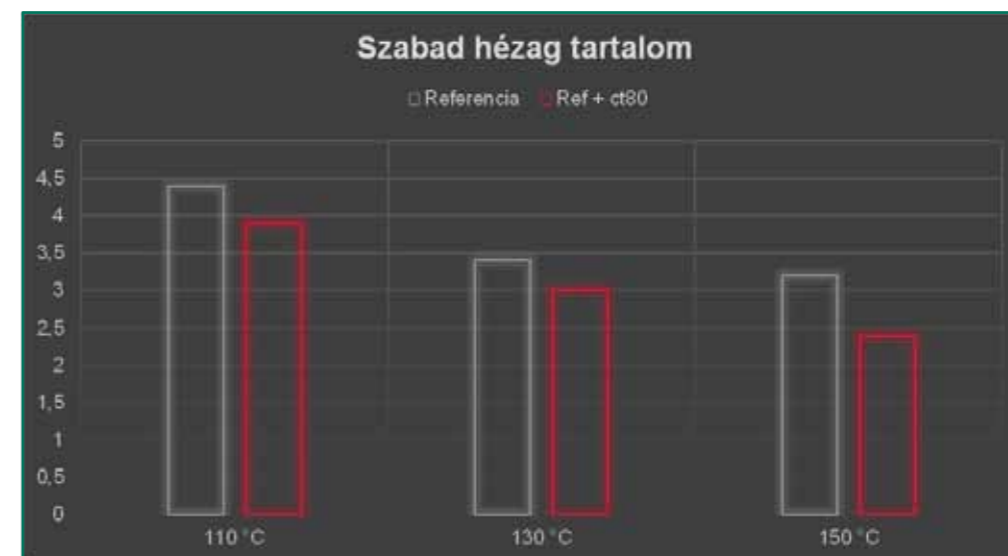
Könnyen belátható, hogy az előbbi a leginkább energiaintenzív munkafolyamat, így itt van szükség a kibocsátás csökkentésre.

A német aszfaltszövetség publikációja szerint amennyiben a WMA tartományban gyártják az aszfaltkeverékeket, 9 kwh energiát spórolhatunk meg tonnánként.

Ezt a lehetőséget ismerte fel egyre több kivitelező cég is. A 2022-es évben volt egy olyan tényező a mérsékelt meleg aszfalt témájában, ami eddig még soha – a rekord drága energia. Az EU-s klímacélok (2030-ra 55%-os kibocsátás csökkentés az előirányzott) és a megdrágult energia miatt, magyarországi kivitelező cégek fejlesztői úgy döntöttek, hogy laborvizsgálatokat készítenek a WMA technológiában már bizonyított anyaggal, a Viatop Plus CT -vel.

A pelletet egy AC 11-es keverékben, 50/70-es bitumennel labor körülmények között tesztelték.

Többek között a szabad hézag tartalmat is vizsgálták, 110, 130 és 150 celsius fokos tömörítési hőmérsékleten.



A fenti ábrán látható, hogy a hézag tartalom még 110 °C esetében is a referencia keverékhez képest alacsonyabb, a 4%-os határérték alatt van. A laborvizsgálatokat 2023-ban éles bevetés is követni fogja, hamarosan megépül az első magyarországi próbaszakasz ezzel a technológiával.

A 2022-es kísérletekkel párhuzamosan megindult a magyarországi engedélyeztetési eljárás is, amelynek köszönhetően elkészült a forgalomba hozatalhoz szükséges NMÉ tanúsítvány is.

Miben más a Viatop Plus CT, mint a habosítás vagy más egyéb adalékanyag?

A pelletált formának köszönhetően a termék tökéletesen adagolható hagyományos adagolórendszereken keresztül. Nincs szükség keverőtelepi beruházásra, időigényes új eljárások elsajátítására. A pellet évekig eltárolható így nem kell aggódnia, hogy ha éppen nincs elegendő WMA-s projekt.

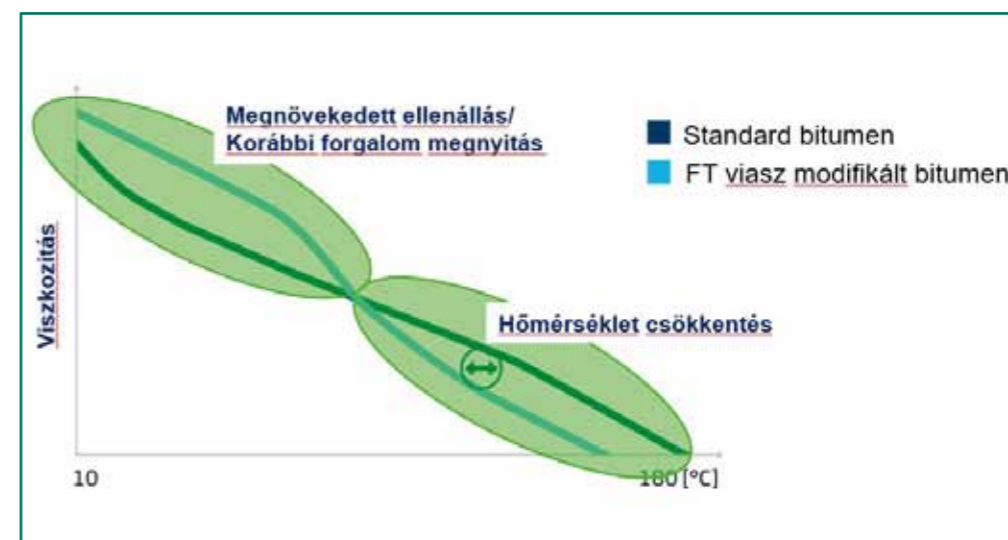
Mivel az SMA aszfaltkeverékekben a jelenlegi standardok szerint szükség van szálas anyagra, így kettős funkcióját

kihasználva kiváló megoldást jelent a hőmérséklet csökkentett SMA aszfaltkeverékek esetében.

Konklúzió

Több évtizedes nemzetközi gyakorlati tapasztalat, több ezer szakmai tudományos vizsgálat és a fenyegető klímaváltság ellenére a WMA és az aszfaltújrahasznosítási technológiák sajnos még mindig csak alacsony mértékben kerülnek alkalmazásra Magyarországon. A globális trendek egyértelműek, a körforgásos gazdaság, energiacsökkentés/optimalizálás egyértelműen követendő irányelvek.

A WMA technológiáival kétségtelenül jelentősen csökkenthető a károsanyag kibocsátás mértéke, és az utóbbi időben tapasztalt energiaárak mellett már a költségcsökkentés mértéke is számszerűsíthető. Erre a technológiákra nyújtanak megbízható, nemzetközileg bizonyított alternatívát a Viatop Plus CT, illetve Viatop Plus RC pelletek, amelyek az említett zöld megoldásokon kívül beruházás nélküli rugalmas alkalmazást biztosítanak.



Hidegremix útalapok utóminősítésének eredménye

dr. Törőcsik Frigyes



Okleveles építőmérnök,
mérnök közgazda

A nemzeti úthálózat 32 ezer kilométeréből jelen cikk csak az alsórendű úthálózattal foglalkozik. Annak is azzal a részével, ahol az elmúlt huszonöt-harminc évben hidegremix technológiával történt a burkolat felújítása. Részletesen nem tárgyalva az útjaink kialakulásának történelmét, azonban a kisforgalmú utakkal foglalkozni kell ezúttal, hogy a hidegremix technológia szükségességét alátámasszuk. Ezek az utak az elmúlt évszázadban a legkülönbözőbb anyagokból készültek. Szélességük is igen változó volt. A kezdetekkor a fogatolt járműveknek ezek a burkolatok megfeleltek. Még korszerűek is voltak, hiszen zömében burkolat nélküli földutak jellemezték az ország útjait.

A XX. század második felében, a gépjárműforgalom megjelenésével, majd a vasútmegszüntetések és a személyközlekedés fejlődése kapcsán megjelenő autóbushözlekedés igényelte a szélesítésüket öt-hat méterre. Ezek a szélesítések nem csak a kezdeti időben, hanem még a múlt század hetvenes-nyolcvanas éveiben is nem méretezett, és a szabványnak kielégítő módon készültek. Nem épültek a szélesítések alá vízmegszakító kavicsrétegek, általában a vízvezető árkok sem lettek újratervezve és kiképezve. A legutolsó időkig még padkaszivárgók sem épültek, vagy ha igen, nem kellő mélységben (többek között azért sem, mert az árkok nem voltak kellő mélységűek).

Törvényszerű volt, hogy ezek a gyenge minőségű szélesítések, bár a főpályával együtt kaptak egy fedőréteget (ítatásos burkolatot, kötőzúzaleköt, néhol felületi bevonatot, vagy egyrétegű aszfaltot) a forgalom hatására hamarosan tönkrementek, deformálódtak, hiszen a kétirányú forgalom egyik keréknyoma erre a sávra esett.

A hetvenes években megindult aszfaltszönyegezési programban némely nagyobb forgalmú ilyen burkolatot is elláttak aszfaltszönyeggel, amely ugyanúgy meghibásodott, mint a többi, aszfalt nélküli szakasz. A század végére és

a XXI. század elejére általánossá vált az úthálózat ezen részének, mintegy hat-nyolcezer kilométernek az a jellemzője, hogy a kétoldali szélesítések megsüllyedtek – néhol tíz-tizenöt centimétert – tönkrementek a folyamatos kátyúzás és profiljavítás ellenére.

Nyilvánvalóvá vált, hogy az ilyen utak tömeges megjelenése, fenntartása hagyományos módon nem volt folytatható. Ekkor döntött úgy a szakmai vezetés, hogy új utakat keresve, az Európa nyugati felén már széles körben alkalmazott hidegremix eljárást bevezeti.

Az első országos bemutatót Zala megyében, egy multinacionális társaság kivitelezésében láthatta a szakma. Igen meggyőző volt az, hogy az adott szakasz teljes szélességében, és átlag húsz-huszonöt centiméter vastagságban fellazítva és átdarálva homogén lett a korábban inhomogén burkolat. A hiányos szerkezeti vastagság pótlására átlagban tíz centiméter vastag új kőpótlást is kapott a meglévő burkolat, cement kötőanyaggal átkeverve. Kopórétegnek egy réteg melegaszfalt került rá, kiegyenlítés után. Bár a bemutató igen meggyőző és hatásos volt, a felkészült hazai nagyvállalatok nem jelentkeztek erre az új, igen hatékony eljárás kivitelezésére.

Utólag is nehezen érthető az, hogy a közútkezelők sem szorgalmazták azonnal ennek az eljárásnak a tömeges bevezetését, legalább megyenként egy-egy útszakasz felújításával. Az is hamar kiderült, hogy a nagyvállalatok tulajdonosai – általában nyugati országok anyavállalatai – a melegaszfalt konkurenciáját vélték ebben az eljárásban. Nehezen volt elfogadható ez az érvelés, hiszen a tönkrement utak felújítására gyakorlatilag a melegaszfalt egyáltalán nem volt indokolt szakmailag, ennek ellenére néhol tíz-tizenöt centiméter, vagy annál is vastagabb melegaszfalt került beépítésre. Várakozó álláspont alakult ki addig, amíg egy kis magyar tulajdonú, avatott mérnök által vezetett társaság nem kezdte el alkalmazni a kilencvenes évek végén ezt a technológiát.

Országos bemutatók sora következett, majd több megyében sorozatos munkák követték a bemutatókat. Elkészült a technológia szabványa. Nyílt országos versenyben is egyre több szakasz került így felújításra, majd a nagy útépitőtársaságok is felvették a technológiájuk sorába. A kétezres évek második évtizedére az országban már több, mint kétszáz ilyen eljárással készült burkolatfelújítás lett.

Ezt követően született javaslat ennek a jobb sorsra érdemesült eljárásnak az utófelülvizsgálatára. A javaslat célja az volt, hogy az eddig elkészült összes szakasz egységes elvek alapján minősítve legyen, feltárva a jellegzetes, általános hibákat. A javaslatot felkarolta a 3R Egyesület, amely arra alapult a korábbi években, hogy szorgalmazza ennek a technológiának a nagyobb mértékű elterjedését, és általánossá tételét. A javaslatához csatlakozott a Magyar Útügyi Társaság és a Magyar Közút Zrt. is, nem csak az indokoltságát támogatva, hanem szerény anyagi hozzájárulásaikkal is.

Az utóminősítést a javaslatot tevő mérnökolléga vezette, két szakavatott kollégával együtt, akik ezt az eljárást a kezdetektől fogva művelték. A minősítést valamennyi szakasz bejárásával, a hibakatalógus szerint rögzítették a kollégák (a hibák rögzítése a repedezettség, a süllyedés, a deformáció, és a tönkrement burkolatok számbavételével történt). Végezetül minden útról összefoglaló minősítés is készült.

Megyenként és utanként igen eltérő állapot került rögzítésre. Azokban a megyékben, ahol mélyfekvésű, kötött talajú, rossz vízvezetésű területeken készültek a hidegremix felújítások, és különösen az első időben (tizenöt-húsz évvel korábban) gyakorlatilag tönkrementek a burkolatok. Ilyen utak Békés, Hajdú, Szolnok, Heves megyékben voltak találhatóak zömmel. Olyan megyékben, ahol az utak számára kedvezőbb talajviszonyok voltak találhatóak, például a Dunántúlon, vagy Bács-Kiskun, Pest megyében, ott is voltak meghibásodások, de azok nem a teljes tönkremenettel jelentették.

Az általános meghibásodások az alábbiak voltak: a szélesítések vonalában mindkét oldalon a burkolat szélétől egy-egy méterre hosszirányú repedés, és burkolatszél felé süllyedések keletkeztek. További általános jellemző volt, hogy a szélesítések nyomvonalában, nyilván a vízvezetés hiányossága miatt is, hosszirányú burkolat tönkremenettel, repedezettség, süllyedés, és kátyúsodás volt. Ezeket a közútkezelők már többször javította. Ilyen jellegű meghibásodások gyakran jelentkeztek a mélyfekvésű, agyagos talajú megyékben, a burkolat más részein, középen is elszórtan. Általában megállapítható volt a padkák gondozatlansága és a burkolatszélnél magasabb volta, továbbá az árkok nem megfelelő mélysége.

A felülvizsgálók áttekintették a fellelhető műszaki dokumentációkat is. Ebben is igen sokféle, kódolható hibalehetőséget lehetett utólag megállapítani. Például, hogy a lokális hibák kijavítása előzetesen nem lett betervezve. A szerkezetvastagságot növelő köterítés vastagságát néhol még 10 centiméterre sem tervezték. Az átdarálás mélysége sem volt egységesre tervezve - legalább húsz centiméterre - gyakran tizenöt centiméter volt csak. A cementadagolás tervezése is jelentősen eltért, attól függetlenül, hogy milyen időjárási körülmények között volt az építés (az természetes, hogy igen meleg időben növelni kellett a párolgás miatt a vízmennyiséget, és ezzel együtt a cement mennyiségét is, de sok esetben nem erről volt szó).

Általános hibaként lehet megállapítani azt is, hogy a hidegremix burkolatfelújítás nem kellő szélességben történt.

A hat méter széles meglévő útburkolatokat a szerkezeti vastagság növelése előtt természetesen alapszélesítésnek is kellett volna megelőzni. Ez szinte minden esetben elmaradt, a közútkezelők azon indoka alapján, hogy nem kívánták a burkolatszélességet növelni! Műszakilag viszont az is egyértelmű követelmény lett volna, hogy a szerkezetnövelés vastagságának megfelelően a szélesség is növekedjék. A megemelt burkolat így nem kapott megtámasztást. A szélesebb köterítés ezért a burkolatszéleken legömbölyödött, általában lerepedt. Ezt a jelenséget az utólagos padka készítés sem tudta megakadályozni.

Talán a legsúlyosabb megállapítás az volt, hogy a tervek szerint általában egy réteg aszfalt készült ezekre a cementkötésű burkolatalapokra. Bár több esetben egy kiegyenlítő réteg is megelőzte az egyrétegű aszfaltot, ezek ekkor is gyorsan átrepedtek. Ezek az átrepedések akkor is megjelentek, ha egyéb deformációk – burkolatsüllyedések – nem voltak észlelhetőek. A cementhasználatból adódóan természetes jelenségeként kísérték ilyenkor a burkolatok átrepedését.

Meg kellett állapítani azt is, hogy mind a közútkezelő, mind a kivitelező a szerkezetnövelő réteg alkalmazásánál szarvashibákat is vétett. Többször nem megfelelő szemmegoszlású és minőségű kőanyaggal történt a szerkezetnövelés. Sűrűn előfordult, hogy martszalfalt használtak ilyen célra. Szakmailag kifogásolható az, hogy a cementstabilizációhoz miért engedtek nem megfelelő szemmegoszlású, finomszemcsésű, drága anyagot használni. A martszalfalt ennél sokkal értékesebb módon is hasznosulhatott volna.

Talán a legnagyobb hibalehetőséget az jelentette, hogy valójában egy új burkolatalap létrehozása után nem egy méretezett burkolatszerkezet készült, hanem nyilván az általános pénzhiány és takarékoság miatt bevett gyakorlatként alkalmazott, egy-egy réteg aszfalt került csak ezekre a burkolatokra. Údító kivételként nagyobb forgalmú utakon készült többrétegű aszfalt is. Ezeket az utakon a szemlén is jobb állapotokat lehetett rögzíteni.

Összefoglalva azt állapították meg az utóminősítők, hogy ez az eljárás hasznos, hiánypótló módon foglal helyet az útburkolataink felújításában. A korábban gyakran minden célra alkalmazott melegaszfalt egyre drágább, ezért az értékelés módszerét ide is alkalmazva (a szükséges és az elégséges feltételek összhangját biztosítva), az útalapok felújításához a kisforgalmú útjainkra kisebb energiaigényű és árú anyagokat és eljárásokat kell alkalmazni. Különösen napjainkban igaz ez, amikor a kőbányáink távlati működésének is előrelátható korlátai vannak.

Az utóminősítés kapcsán meglepetéssel tapasztalták a kollégák, hogy szinte teljesen eltűnt a kisforgalmú, hézagos alapú útjainkról a korábbi, sok-sok évtizedben jó minőségben alkalmazott felületi bevonatok technológiája. Az aszfalthoz szükséges kötőanyag rohamos léptekben drágul, a felmelegítéshez használt tüzelőolajjal együtt.

A tapasztalatok levonása után szükséges áttekinteni a vonatkozó szabványt, szigorítani a minőségi követelményeket és a technológiát. Az alkalmazott eljárások sorában a forgalom nagyságától függően kötelező érvénnyel szerepeltetni kell ezt az eljárást a technológiák kiválasztásakor már a versenyztetés során.

Javasoljuk tehát, hogy a szabvány kerüljön felülvizsgálatra, átdolgozásra. Készüljön továbbá egy alapos, részletes technológiai útmutató a kisforgalmú utak burkolatának felújításához.

A HAPA XXIII. Konferenciájának ajánlásai

• 1./

Az útéépítésben alkalmazott gépek felszereltségének növelése, a digitális eszközök használata nem halasztható! A kivitelezők számára javasoljuk egy 2-5 éves gördülő terv készítését annak érdekében, hogy ezek az eszközök beépüljenek a napi használatba.

• 2./

Nagyra becsüljük a gépgyártó cégek erőfeszítéseit, jónak tartjuk a fejlesztési irányokat! A HAPA felvállal egy közvetítő szerepet azért, hogy a kínálat és a keresleti lehetőségek közelítsenek egymáshoz.

• 3./

A HAPA munkacsoportjai felé javasoljuk, hogy a Magyar Közúttal együttműködve állapítsuk meg az aszfaltkeverékekbe felhasználható bontott anyagok magyarországi teljes mennyiségét.

• 4./

A mennyiségek ismeretében – a nemzetközi tapasztalatokkal összhangban –, javasoljuk a kopórétegek kivételével a minimum 10% bontott aszfalt felhasználásának kötelezővé tételét. Ennek feltétele, hogy az útfelújítások során felmárt aszfalt a kivitelező birtokába kerüljön, így ő is érdekelt legyen az újrafelhasználásban. Ezzel együtt javasoljuk a kivitelezők felé az UME tervezetében foglalt lehetőségek minél teljesebb körű kiaknázását.

• 5./

Dr. Ambrus Kálmán aktív szerepvállalásával, a HAPA szervezzen konzultációkat a kisebb vállalkozások számára az ismereteik gyarapítására.

• 6./

Javasoljuk a WMA (mérsékelt meleg aszfalt) mennyiségének növelését elsődlegesen úgy, hogy a norvég minta hazánkban alkalmazható adaptációját kezdjük el működtetni Magyarországon. Ennek javasolt módját a HAPA munkacsoportok dolgozzák ki, és széles körű vita után (megrendelők, tervezők, kivitelezők) próbáljuk meg bevezetni.

• 7./

A georácsoknak az utak szerkezetébe való építésének egyértelműen pozitív hatása van. Az aszfalt rétegek alá épített rácsok kedvezően befolyásolják a burkolatok repedéssel szembeni ellenállását (késleltetik a repedések megjelenését) és segítenek a teherbírási problémákon is. Ugyanakkor aggályok merülnek fel a közvetlenül kopóréteg alá terített rácsok szerepével, és a későbbi, aszfalt újrahazsnálati lehetőségekkel kapcsolatban. Ennek tisztázása érdekében, mielőtt a kopóréteg alatti háló beépítése rendszer-szerűvé válna, javasoljuk annak további, részletesebb vizsgálatát. A tapasztalatok, és következtetések levonásáig

A HAPA XXIII. Konferenciájának ajánlásai

a vizsgálatokkal párhuzamosan javasoljuk a repedés-áttükröződés késleltetésre esetlegesen alkalmazható további alternatívák vizsgálatát is (pl. SAMI réteg). Az aszfalttrács szakszerű beépítése a megszokottól nagyobb figyelmet és nagy élő munkaerő használatát igényli.

• 8./

Javasolunk összeállítani egy olyan listát, ami nem gyártó specifikusan, hanem anyag és kialakítás specifikusan elemzi, hogy mely típusok javasolhatók kifejezetten az aszfalt rétegek alá, figyelembe véve a környezetvédelmi szempontokat és az aszfalt újrahazsnálatának lehetőségét is.

• 9./

Az aszfalt adalékszerek használata várhatóan egyre nagyobb szerepet fog kapni a jövőben (mérsékelt meleg aszfaltok, erősen modifikált keverékek, magasabb %-ú RA adagolás esetén) Magyarországon is. A keverőtelepi adagolás nagyobb rugalmasságot biztosít a gyártó számára, mint a bitumenbe előre bekevert adalékszerek. Javasoljuk a gyártók számára ezen technológiák megismerését, kipróbálását.

• 10./

Az Eurobitume&Euroaszfalt 8. kongresszusának 2024-ben Budapest ad otthont. A rendezvény az aszfalt szakmánk legnagyobb európai rendezvénye. Így kiemelt figyelmet kell fordítanunk a magyar mérnök társadalom részvételére, illetve az előkészítő munkák helyzetéről a folyamatos tájékoztatásra.

• 11./

A HAPA konferencián elhangzott előadások közül ajánljuk a következő magyar előadók számára, hogy adják be jelentkezésüket előadóként a Budapesten 2024-ben tartandó 8. E&E Congress Technikai Bizottságához:

- Hazuga Károly
- Dr. Kovács András
- Dr. Gajári György
- Bortei-Doku Shaun
- Dr. Ambrus Kálmán
- Rosta Szabolcs
- Dr. Almássy Kornél
- Kathy Dávid
- Pethő László

Igény esetén a HAPA segítséget nyújt





8TH E&E CONGRESS
EURASPHALT & EUROBITUME
19 - 21 JUNE 2024
BUDAPEST
HUNGARY

SAVE THE DATE!
8TH E&E CONGRESS
19 - 21 JUNE 2024
BUDAPEST | HUNGARY

GUARANT International spol. s r.o.
Českomoravská 19
190 00 Praha 9
Česká republika
+420 284 001 444
eecongress2024@guarant.cz

WWW.EECONGRESS2024.ORG



8TH E&E CONGRESS
EURASPHALT & EUROBITUME
19 - 21 JUNE 2024
BUDAPEST
HUNGARY

**SUBMIT YOUR PAPER
BY 31ST MAY 2023**

eecongress2024@guarant.cz
WWW.EECONGRESS2024.ORG

Különböző aszfaltkeverékek teljesítményének összehasonlítása, mechanikai alapú értékelési módszertana többrétegű útpályaszerkezetek esetén

Zsichla László

ügyvezető igazgató
Rodcont Kft.



1. Bevezetés

Az aszfaltkeverékek termékfejlesztése során, ahol különböző adalékanyagokat alkalmazhatunk, eltérő aszfaltmechanikai tulajdonságokat kapunk.

Ezek közül kiemelt jelentősége van a merevségi modulusnak és a fáradásnak, amit az MSZ EN 12 697-24 vizsgálati eljárás szerint határozzunk meg.

Nincs módszertan arra, hogy objektíven kizárólag mechanikai módszerrel a valós út-pályaszerkezeti rétegekre tekintettel hasonlíthassuk össze, értékeljük a kapott eltérő paramétereket. A tanulmány célja egy ilyen objektív módszertan bemutatása, ahol az összehasonlítás alapja a fáradási élettartam.

2. Viszonyítási alapok

Az MSZ EN 12 697-24 eljárás szerint vizsgált eltérő merevségű, de azonos fáradási tulajdonságú aszfaltkeverékek a pályaszerkezeti rétegben nem eredményeznek azonos fáradási élettartamot.

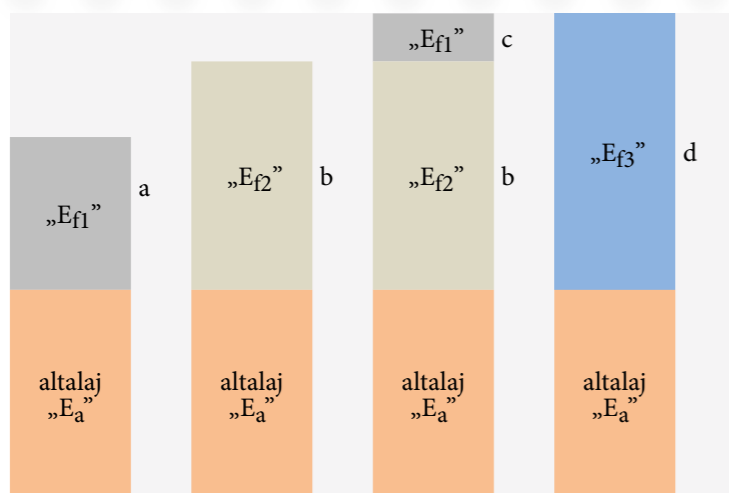
Kérdés, hogy mit tekintünk a fáradási élettartam alapján azonos pályaszerkezetnek, ill. pályaszerkezeti rétegeknek, ha egyébként eltérő a vastagságuk, merevségük, ill. a mechanikai tulajdonságaik.

Kézenfekvőnek látszik, hogy a felszíni terhelés során bekövetkező azonos legnagyobb behajlást vagy a közel azonos behajlási teknő legyen az összehasonlítás alapja.

A legnagyobb behajlás azonossága a jelenleg érvényben lévő méretezési utasításból⁽¹⁾ is következik. Ennek továbbfejlesztett változatának tekinthetjük, ha a legnagyobb behajlási kritériumon kívül az azonos behajlási teknőalakot is megköveteljük.

A továbbiakban igazolom, hogy a legnagyobb behajlás és az azonos alakú behajlási teknő nem szükséges és nem elégséges feltétele az azonos fáradási élettartamnak.

A jelenleg érvényben lévő útpályaszerkezet méretezési és teherbírás mérési UME-k alapján arra keressük a választ, hogy az MSZ EN 12 697-24 szerint vizsgált azonos fajlagos alakváltozású, de eltérő merevségű aszfaltkeverékek, milyen vastagsági arány mellett eredményeznek adott E_a altalaj merevség és azonos terhelés mellett az altalaj felszínén közel azonos alakú behajlási teknőt. A behajlási teknőt egy $r=150$ mm átmérőjű, 50 kN terhelésű körtárcsa alapján számítjuk, ahol a tárcsa alatt közvetlenül a feszültségeloszlás egyenletes. Az aszfaltretek együtt dolgoznak, de a talaj és az aszfalt között nem feltételezzük együttlapolozást.



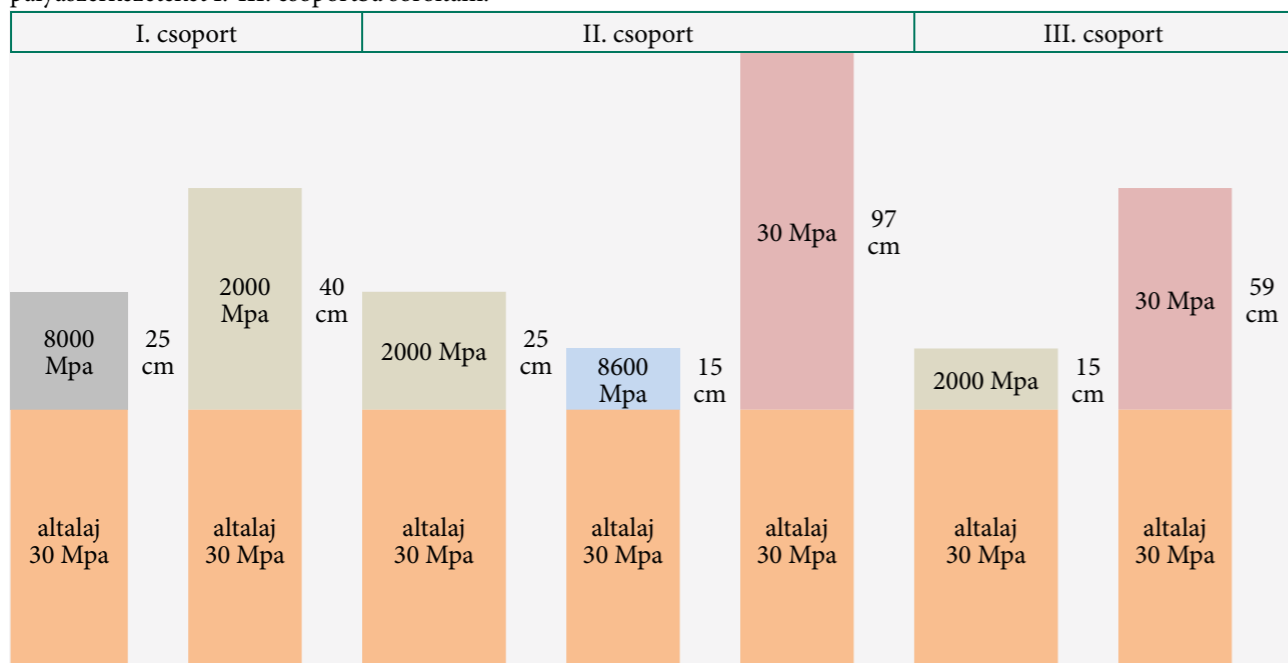
1. ábra: Minta-pályaszerkezetek felépítése

Megválaszolendő, hogy az 1. sz. ábra alapján az eltérő vastagságú E_{f1} és E_{f2} merevségű aszfaltkeverékek, milyen E_{f3} „d” vastagságú keverékkel helyettesíthető, annak érdekében, hogy az altalajon hasonló alakú behajlási teknőt eredményezzen.

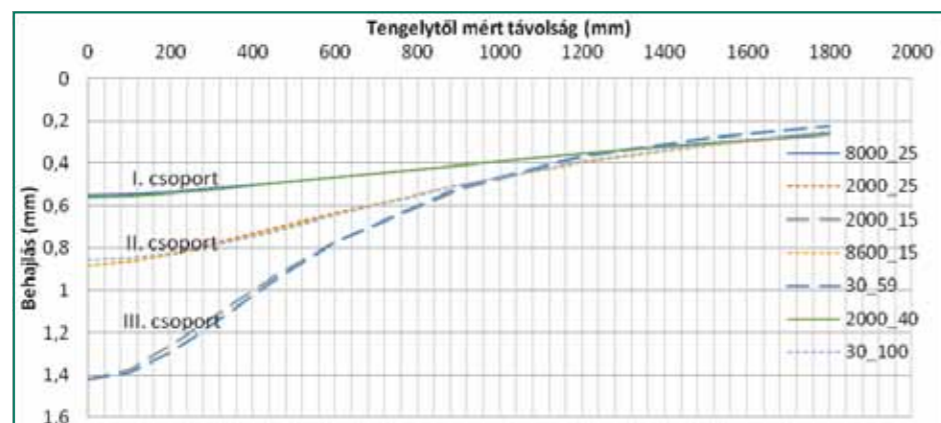
A hatályos UME-ből következik, hogy az azonos legnagyobb behajlást eredményező azonos típusú pályaszerkezeti rétegek az e-Út 06.03.13:2005 6.4. fejezete szerint értelmezve, azonos fátadási élettartamúak.

Az 1. ábrán szereplő pályaszerkezeti rétegekre vonatkozóan megoldható, hogy az eltérő vastagságú és merevségű pályaszerkezetek közel azonos behajlási teknőt eredményezzenek azonos terhelés esetén.

A 2. és a 3. ábrákon ezt a lehetőséget egy példán mutatom be, ahol az azonos behajlási teknőket eredményező pályaszerkezeteket I.-III. csoportba soroltam.

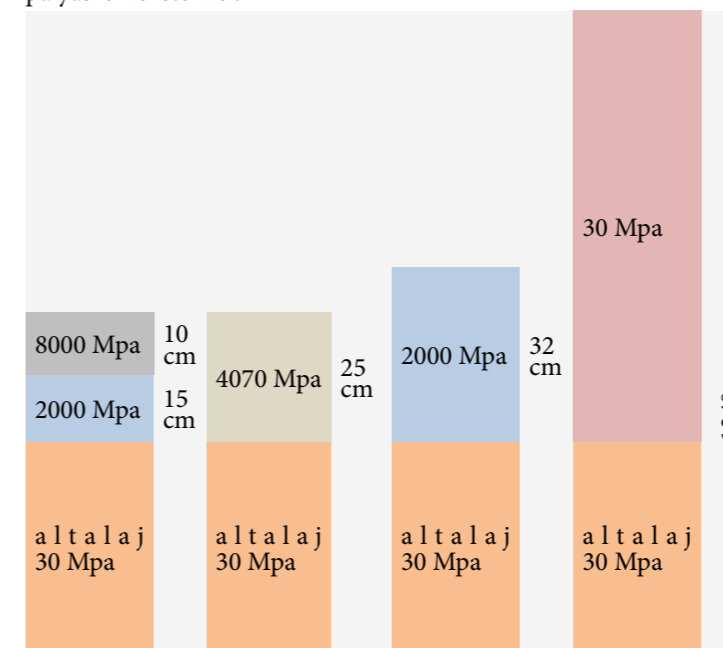


2. ábra: Különböző kétrétegű pályaszerkezetek, ahol az I, II, III. csoportokon belül a kialakuló behajlások közel azonosak



3. ábra: Különböző kétrétegű pályaszerkezetek alatti úttükör behajlása 30 Mpa altalaj merevség esetén

A 4. ábrán egy háromrétegű rendszert helyettesítettünk azonos vastagságú és eltérő vastagságú kétrétegű pályaszerkezetekkel.



4. ábra: Háromrétegű és az azt helyettesítő kétrétegű pályaszerkezetek

A helyettesítő rétegvastagság számítására Odemark⁽⁴⁾ vezetett le közelítő összefüggést, de a számítások csak és kizárólag egyrétegű rendszerben használhatók, ahol a többrétegű rendszert egyrétegűvé alakította. A módszer a körtárcsa tengelyében kialakuló legnagyobb behajlásra alkalmazható, de a behajlási teknő megfelelő pontosságú modellezéséhez már nem megfelelő pontosságú.

A pontosság egy relatív érték, de általában megfelelő, ha az eredeti réteg/rétegek alapján számított behajlási teknő és az azt helyettesítő réteg esetén számított behajlási teknő eltéréseiből számított RMS% < 2%-nál.

Odemark 1949. évi alpművének (4) 15. oldalán vezeti be a helyettesítő rétegvastagságot, de nem tartotta szükségesnek, hogy részletesen kifejtsen elgondolását, a „bizonyítást” egy kijelentéssel letudta.

„Elméletileg két eltérő vastagságú és E-modulusú réteg egyenértékű, ha azonos merevségűek”.

$$h_e = n h_f \sqrt{\frac{E_f(1-\nu_f)}{E_a(1-\nu_a)}} \quad (1)$$

Odemarknál a ν_f ; ν_a a Poisson-számok, az „n” egy korrekciós tényező, amit $n = 0,9$ -re vesz fel, mert a kapott értékek így egyeznek Burmister (3) diagramjaival.

Aszfalt pályaszerkezeti rétegek esetén a Poisson-számok azonosnak vehetők, ezért a [1] egyszerűsödik, ha az eltérő merevségű és vastagságú pályaszerkezeti rétegek közötti megfelelést keressük.

$$b = n a \sqrt{\frac{E_{f1}}{E_{f2}}} \quad (2)$$

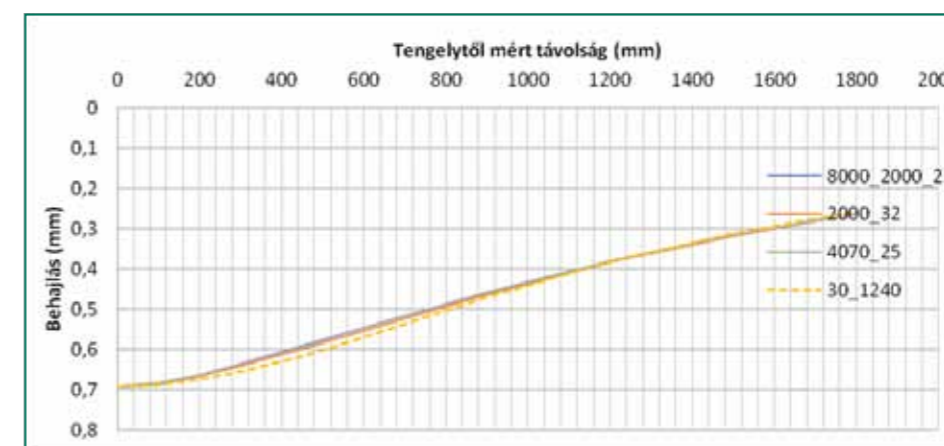
ahol:

- a - E_{f1} merevségű réteg vastagsága
- b - E_{f2} merevségű réteg vastagsága

3. Egyenértékű rétegvastagság számítása, elméleti alapok.

Egyenletes terhelésű körtárcsa alatti feszültségeloszlásra homogén izotrop féltér esetén a megoldást Love⁽²⁾ vezette le. A differenciálegyenlet megoldásához Bessel függvényt alkalmazott.

Burmister⁽³⁾ oldotta meg kétrétegű rendszerre Love egyrétegű rendszerre vonatkozó megoldását⁽²⁾. Több számítógép alkalmazását igénylő program is létezik, amelyek ezen elméleti megoldásokon alapulnak. A pályaszerkezetben kialakuló feszültségek és összenyomódások számításához a BISAR programot használtam, amelynek segítségével számítható az úttükör feletti behajlási teknő.



5. ábra: Különböző háromrétegű pályaszerkezetek helyettesítése kétrétegű pályaszerkezetekkel

Az útpályaszerkezeti rétegek alatt, úttükrön kialakult behajlási teknő alakját a vizsgált pályaszerkezeti rétegnek fel kell vennie, hajlítást kell elszenvednie.

Fontos kitétel, hogy úttükrön kialakult görbület egyrétegű homogén és izotróp rétegnek megfelelően alakul ki a vizsgált „a és b” mélységben.

Két eltérő vastagságú és alakváltozási modulusú réteget akkor tekintünk azonosnak a térbeli hajlítás szempontjából, ha a keletkező belső alakváltozási energiák azonosak adott behajlási teknő mellett.

Hajlítás közben alakváltozási energia keletkezik, amiből egy tetszőlegesen felvett x, y, z pontban számítjuk a du_v fajlagos alakváltozási energiasűrűséget, majd a „Z” tengely mentén integrálással a du^z vonalmenti fajlagos alakváltozási energiasűrűséget vagy más szóval energiát számolhatjuk. Az x és y tengelyek párhuzamosak az útfelületével, míg a z tengely iránya arra merőleges.

Tiszta hajlítás esetén feltételezzük, hogy

$$\varepsilon_z^s = 0; \gamma_{xy} = 0; \sigma_z = 0,$$

(3)

ahol:

$$E = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z^s} \quad (4)$$

σ_z - Z tengely irányú normál feszültség

γ_{xy} - Z tengelyre merőleges xy síkban szögtorzulás

Igazolható, hogy tiszta hajlítás esetén du^z fajlagos vonalmenti alakváltozási energiasűrűség E_{f1} merevség és a rétegvastagság esetén:

$$du^z = E_{f1} a^3 \frac{1}{24(1-\mu^2)} \left[(\varphi_x^2 + \varphi_y^2 - \mu(\varphi_x + \varphi_y)^2 - \mu^3 \varphi_x \varphi_y) + 2(1-\mu^2) \left(\frac{\Delta\varphi_x}{dx} \varphi_x + \frac{\Delta\varphi_y}{dy} \varphi_y \right) \right] \quad (5)$$

$$\varphi_x = \frac{1}{R_x}; \varphi_y = \frac{1}{R_y}, \quad (6)$$

R_x az „X” tengely menti görbület, R_y , az „Y” tengely menti görbület.

Egy görbült felületre hajlított rétegben keletkező du^z fajlagos vonalmenti alakváltozási energiasűrűség tiszta hajlítás esetén csak a merevség és a rétegvastagság függvénye, ezért:

$$E_{f2} b^3 = E_{f1} a^3 \quad (7)$$

Evvel igazoltuk, hogy az egyenértékű rétegvastagság tiszta hajlítás esetén:

$$b = a \sqrt[3]{\frac{E_{f1}}{E_{f2}}} \quad (8)$$

A többrétegű és az egyrétegű rendszerben kialakuló „Z” tengely irányú σ_z feszültségek nem feleltethetők meg az (1) szerint egymásnak, ezért a (7) összefüggést korrigálni kell, ahol a korrekciós tényező „n” értéke a pályaszerkezettől függően 0,94-1,04 között változik.

A behajlási teknők számításához a BISAR programot használtuk, így az „n” érték pontosan meghatározható.

Két eltérő merevségű réteg akkor eredményez közel azonos behajlási teknőt, ha a merevségek és vastagságok között a következő összefüggés fennáll.

$$b = na \sqrt[3]{\frac{E_{f1}}{E_{f2}}}, \quad \text{ahol: } n \cong 0,98 \quad (9)$$

A (9) többrétegű rendszerben is használható, de ekkor figyelembe kell venni, hogy a rétegenként eltérő vastagságú és merevségű rétegek hajlításból származó nyomatóka kisebb, mint a rétegek összesített vastagságával egyező helyettesítő merevségű rétegé.

A 4. ábra szerinti példában a szorzó 0,9248, ahol a 250 mm vastagságú és 4070 Mpa merevségű rétegben a semleges tengely 92,86 mm-nél alakul ki.

A (9) alkalmazásával elérhetjük, hogy közel azonos behajlási teknőket, ill. azonos legnagyobb behajlásokat kapjunk, ami megfelel a jelenleg hatályos UME előírásoknak, de az azonos alakú behajlási teknők egyáltalán nem eredményeznek az úttükr határoló felületén azonos fajlagos alakváltozásokat, fajlagos megnyúlásokat.

A 2. ábra I. csoporton belül a 8000 MPa és 25 cm vastag aszfaltréteg esetén a számított fajlagos megnyúlás $\mu_{strain} = 87,3$, míg a 2000 MPa és 40 cm vastag aszfaltréteg esetén a számított fajlagos megnyúlás $\mu_{strain} = 127,7$.

A másik két csoportban is hasonló az eltérés.

Ha feltételezzük, hogy a 8000 MPa merevségű és a 2000 MPa merevségű aszfaltkeverékek esetében az MSZ EN 12 697-24 szerint mért fajlagos alakváltozások azonosak, akkor a 2000 MPa és 40 cm vastagságú réteg sokkal gyorsabban fog tönkremenni a terhelésenkénti $127,7/87,3=1,463$ szerez megnyúlás miatt. Így a pályaszerkezetben keletkező eltérő fajlagos megnyúlások, eltérő fáradási élettartamot okoznak, annak ellenére, hogy az aszfaltkeverékeket azonos fáradási élettartamúnak feltételeztük.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy az azonos legnagyobb fajlagos alakváltozást okozó pályaszerkezetekben a keletkező belső fajlagos alakváltozási munka eltérő.

Következmények:

- A legnagyobb behajláson alapuló méretezés jelentősen eltér a legnagyobb fajlagos alakváltozáson alapuló fáradási élettartamtól.
- Az azonos alakú behajlási teknők sem biztosítanak azonos fáradási élettartamot.
- A (9) összefüggés nem megfelelő, jelentősen alábecsli az azonos élettartamot eredményező vastagság/merevség arányokat.

4. Azonos legnagyobb megnyúlások követelménye és alkalmazása

Két eltérő felépítésű és mechanikai tulajdonságú pályaszerkezet soha nem lehet a fajlagos alakváltozások eloszlása alapján azonos.

Fáradás szempontjából, akkor tekinthetjük közel azonosnak az eltérő pályaszerkezeteket, ha a legnagyobb fajlagos megnyúlások közel azonos értékűek.

Körtárcsa terhelés esetén a legnagyobb megnyúlás a tárcsa tengelyében az együttdolgozó rétegek alsó síkján alakul ki.

Adott pályaszerkezetek esetén megfelelő programokkal a legnagyobb vízszintes $\varepsilon_{(x,y)}$ fajlagos alakváltozásokat tudjuk számítani, így az eltérő merevségű rétegekhez találhatunk olyan rétegvastagságot, amely éppen akkora $\varepsilon_{(x,y)}$ okoz, mint az eredeti pályaszerkezet esetén.

Eltérő merevségű, de az EN 12 697-24 szerint $N = 10^6$ ciklusnál azonos fajlagos alakváltozású aszfaltkeverékek az útpályaszerkezeti rétegben akkor eredményeznek közel azonos fáradási élettartamot, ha a vastagsági arányuk a (10) szerinti.

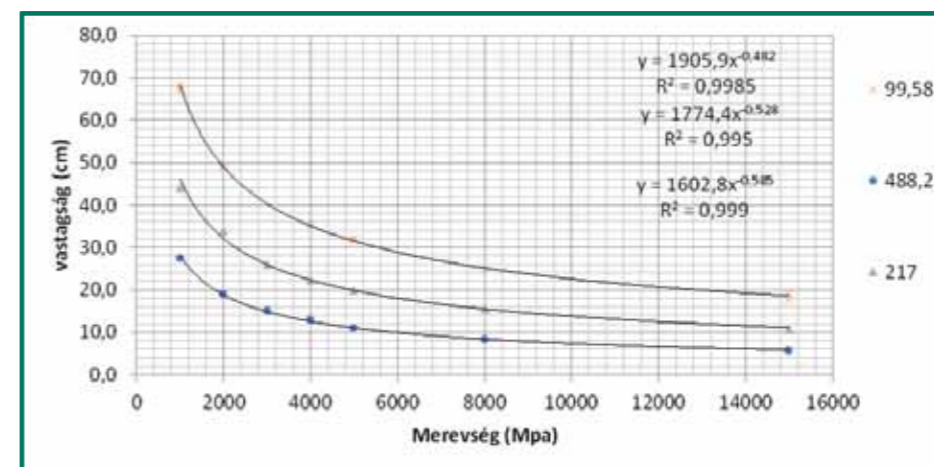
$$b = a \left(\frac{E_{f1}}{E_{f2}} \right)^{-f} \quad (10)$$

$$f = (442,24 + 0,3946 * \varepsilon_{(x,y)}) 10^{-3} \quad (11)$$

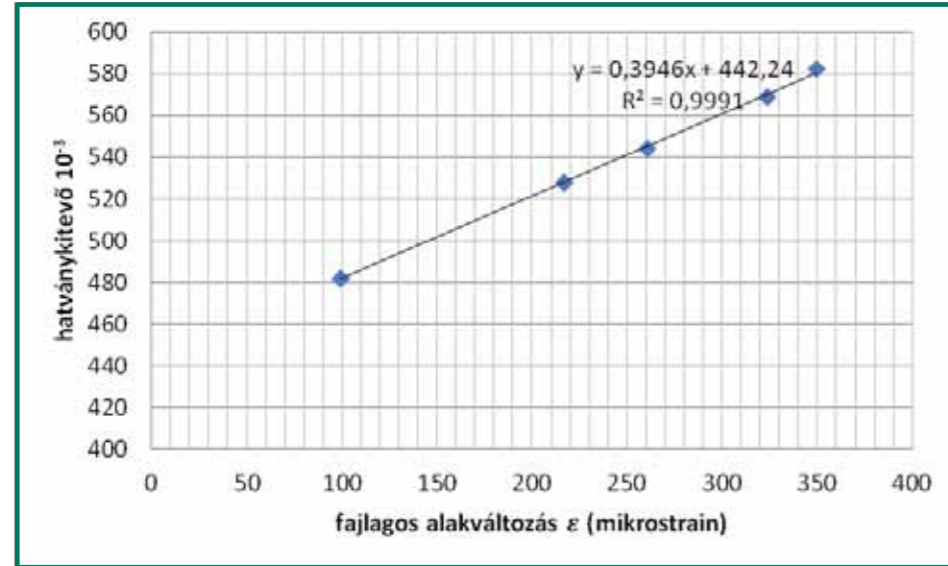
A (10) (11) összefüggések alkalmazásakor adott E_a altalaj teherbírás esetén az E_{f1} és E_{f2} merevségű rétegek alsó síkján a számított vízszintes és függőleges irányú fajlagos alakváltozások közel azonosak. A megengedett eltérés $\pm 8\%$.

A (10) összefüggést a BISAR program segítségével állítottam elő.

A 6. ábrán különböző vastagságú és merevségű pályaszerkezeti rétegek találhatók, ahol az összetartozó pontok a terhelő tárcsa tengelyében a réteg alatt azonos $\mu_{strain(x,y)}$ fajlagos alakváltozást okoznak. A kapott összefüggések hatványosak, ahol a hatványkitevők nem függenek az altalaj teherbírásától és a Poisson számtól.



6. ábra: Eltérő vastagságú és merevségű rétegek, ahol a legnagyobb fajlagos megnyúlások azonosak



7. ábra: Merevséget jellemző „g” hatványkitevő változása a fajlagos alakváltozás függvényében.

A 7. ábrán látható, hogy a hatványkitevő és $\epsilon_{(x,y)}$ fajlagos alakváltozás között is található szoros korrelációjú lineáris összefüggés (11) összefüggés, amely 8% hibahatár mellett 40-500 $\mu_{strain(x,y)}$ és 1500-15000 MPa merevség tartományban alkalmazható.

A 8. ábrán három azonos 87,5 $\mu_{strain(x,y)}$ fajlagos megnyúlású, de eltérő behajlási teknőt ábrázoltam, ahol eltérő a pályaszerkezet vastagsága és merevsége.

Az egyik réteg 8000 MPa merevségű és 25 cm vastagságú, a másik réteg 4000 MPa merevségű és 35,3 cm vastagságú, míg a harmadik réteg 2000 MPa merevségű és 50 cm vastagságú, az altalaj teherírása 30 MPa.

A legnagyobb behajlások 0,551; 0,497; 0,458 mm.

A 8. ábra ismételten rámutat a legnagyobb behajlás és a legnagyobb fajlagos megnyúlás közötti eltérésre.

A (10) és (11) alkalmazható több réteg összevonására is (12), amelyre példát mutatunk be a 9. ábrán.

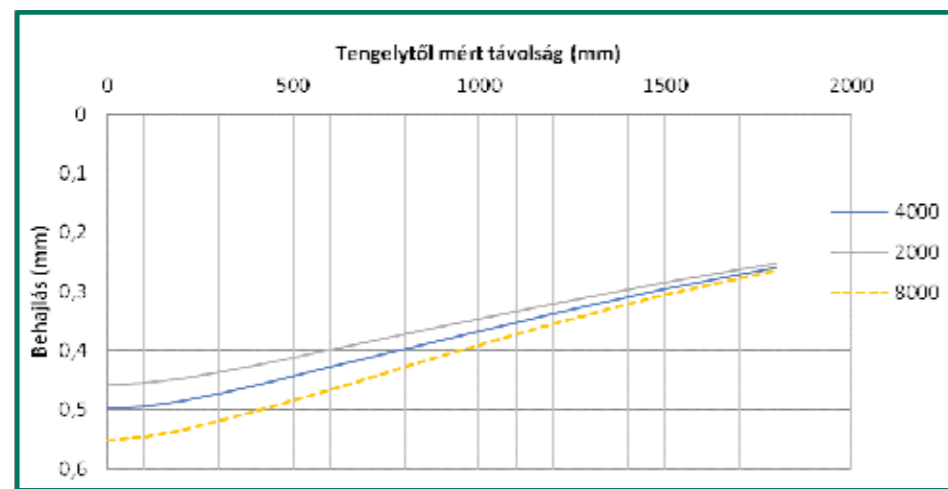
$$b = \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{E_{fi}}{E_{f\ddot{o}}} \right)^f, \quad (12)$$

ahol:

E_{fi} - i . réteg merevsége (MPa)

$E_{f\ddot{o}}$ - összevont merevség (MPa)

a_i - i . réteg vastagsága (mm)



8. ábra: Eltérő vastagságú és merevségű rétegek behajlási teknője 30 MPa teherbírású talajon, ahol a fajlagos megnyúlások azonosak.

Többrétegű pályaszerkezet	b_i (cm)	Helyettesítő egyrétegű pályaszerkezet
4cm 7000 Mpa	2,14	25 cm 2250 Mpa
6cm 5000 Mpa	3,86	
6cm 1000 Mpa	9,38	
9cm 2000 Mpa	9,60	

9. ábra: 25 cm vastagságú négyrétegű rendszer összevonása egy réteggé.

Eredeti többrétegű pályaszerkezetben a fajlagos alakváltozások		összevont vastagság b (cm)	Helyettesítő egyrétegű pályaszerkezetben a fajlagos alakváltozások	
$\mu_{strain(x,y)}$	$\mu_{strain(z)}$		$\mu_{strain(x,y)}$	$\mu_{strain(z)}$
-191,7	143,5		-262,5	86,83
-47,55	-25,19	2,14	-287,2	3,1
127,9	-360,1	6	-176,5	-102,9
108,5	-174,1	15,38	75,55	-176,2
274,9	-304,6	25,0	291,1	-322,3

Az f hatványkitevő 274,9 $\mu_{strain(x,y)}$ fajlagos alakváltozás mellett (11) szerint $f = 0,5507$

A 9. ábrán is láthatjuk, hogy a többrétegű pályaszerkezet és a helyettesítő egyrétegű pályaszerkezetben a fajlagos alakváltozások a legelső felületet kivéve jelentősen eltérőek.

Az is belátható, hogy nem létezik olyan egyrétegű homogén pályaszerkezet, amelyben az eredeti többrétegű rendszerrel azonosan alakulnának a fajlagos alakváltozások.

Fáradási repedések megjelenése szempontjából az eredeti és a helyettesítő 2250 Mpa merevségű pályaszerkezet egyenértékű abban az értelemben, hogy várhatóan azonos időpontban keletkeznek fáradási repedések a kritikus, legnagyobb fajlagos alakváltozású alsó síkon.

A (10) összefüggés nagyon jól alkalmazható pályaszerkezet megerősítésénél az eltérő vastagságú és merevségű aszfaltrétegek összehasonlításánál, ahol teljesíteni kell a közel azonos fáradási élettartam követelményét. (lásd. 10. ábrát)

A 10. ábra szerinti erősítendő, eredeti pályaszerkezetet két eltérő vastagságú és merevségű réteggel erősítjük, ahol elvárjuk, hogy a meglévő pályaszerkezet minden rétegében csökkenjen a fajlagos alakváltozás. Megerősítésnél az eredeti rétegben a semleges tengely az erősítőréteg felé „vándorol”, ezért a semleges tengely közelében az eredeti és a megerősített pályaszerkezetben az azonos réteghatárokon a fajlagos alakváltozás előjelet válthat.

Fáradás szempontjából a kétféle megerősítés esetén az együttdolgozó pályaszerkezet alsó síkján keletkező fajlagos alakváltozás közel azonosnak kell lenni, ha az erősítőrétegek eltérő vastagára és merevségére teljesül a (10) és (11) összefüggés.

	eredeti		7cm 8000 Mpa erősítés		9cm 4850 Mpa erősítés			
	$\mu_{strain(x,y)}$	$\mu_{strain(z)}$	$\mu_{strain(x,y)}$	$\mu_{strain(z)}$	$\mu_{strain(x,y)}$	$\mu_{strain(z)}$		
			-115,7	69,46	-125,6	44,4		
	-191,7	143,5	7cm 8000 Mpa	-4,79	9cm 4850 Mpa	-7,6		
4cm 7000 Mpa	-47,55		4cm 7000 Mpa	41,67	4cm 7000 Mpa	37,4		
6cm 5000 Mpa	127,9		6cm 5000 Mpa	103,4	6cm 5000 Mpa	97,03		
6cm 1000 Mpa	108,5		6cm 1000 Mpa	83,97	6cm 1000 Mpa	80,21		
9cm 2000 Mpa	274,9	-304,6	9cm 2000 Mpa	156,7	-173,6	9cm 2000 Mpa	151	-167,3

10. ábra: Közel azonos fáradási élettartamú megerősítések

A 7 cm 8000 Mpa merevségű erősítés esetén a pályaszerkezet alsó síkján számított fajlagos megnyúlás $156,7 \mu_{strain(x,y)}$, ezért a (10) alapján számított 4850 Mpa merevségű réteg szükséges vastagsága $b = 9,0 \text{ cm}$.

$$b = a \left(\frac{E_{f1}}{E_{f2}} \right)^f = 7 \left(\frac{8000}{4850} \right)^{0,504} = 9,0 \text{ cm} \quad (11)$$

$$f = (442,24 + 0,3946 * 156,7) 10^{-3} = 0,504$$

Mindaddig feltételeztük, hogy a pályaszerkezeti rétegekben az EN 12 697-24 szerint mért fajlagos alakváltozás értéke azonos. A merevséghez hasonlóan a fajlagos alakváltozásra is felírhatunk összefüggést.

Ilyenkor arra keressük a választ, hogy egy „a” vastagságú és E_{f1} merevségű aszfaltréteg vastagságát milyen mértékben kell növelni, ahol az „a” vastagság esetén a számított fajlagos megnyúlás ε_{s1} , ha azt ε_{s2} -re szeretnénk változtatni.

Ebben az esetben a vastagságok és fajlagos megnyúlások között az alábbi összefüggés áll fenn:

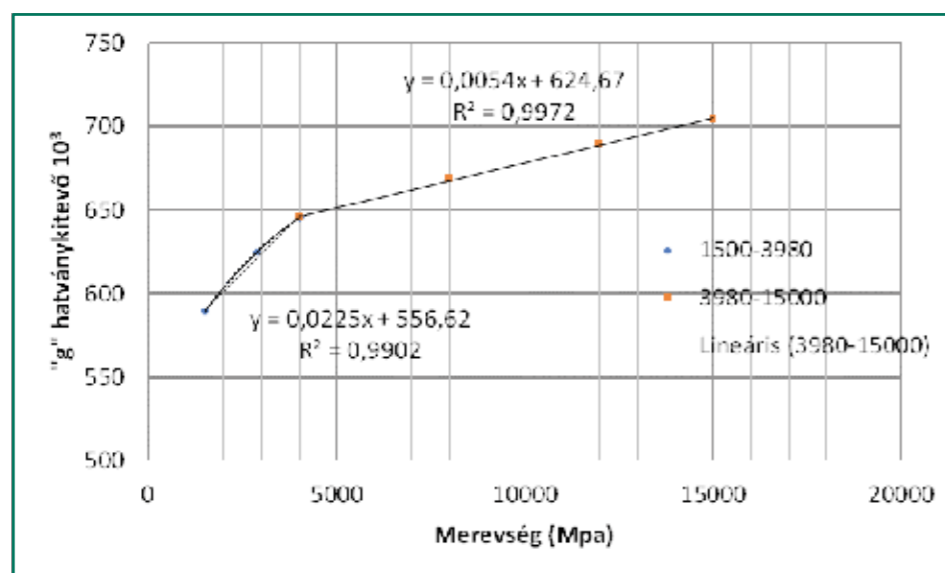
$$b = a \left(\frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s2}} \right)^g \quad (13)$$

$$g = (556,62 + 0,0225 * E_{f1}) 10^{-3} \quad (14a)$$

1500-3980 Mpa tartományon belül

$$g = (624,67 + 0,0054 * E_{f1}) 10^{-3} \quad (14b)$$

3980-15000 Mpa tartományon belül



11. ábra: Fáradást jellemző „g” hatványkitevő változása a merevség függvényében.

A (10) és a (13) teszi lehetővé, hogy az EN 12 697-24 szerint mért $E_{f1}; \varepsilon_{s1}$ paraméterű aszfaltkeveréket összehasonlíthassunk egy $E_{f2}; \varepsilon_{s2}$ paraméterű aszfaltkeverékkel.

A (13); (14) alkalmazható több réteg összevonására is (15).

$$b = \sum_{i=1}^n a_i \left(\frac{\varepsilon_{si}}{\varepsilon_{s0}} \right)^g, \quad (15)$$

ahol:

ε_{si} - i . réteg fajlagos alakváltozása μ_{strain}

ε_{s0} - összevont fajlagos alakváltozás μ_{strain}

a_i - i . réteg vastagsága (mm)

Összevont pályaszerkezetnél az összevont merevséggel (12) kell meghatározni a „g” hatványkitevő értékét.

A (15) összefüggés többretegű pályaszerkezetre is igaz, ha az „a” vastagságú pályaszerkezet minden rétegének EN 12 697-24 szerint mért fajlagos alakváltozása ε_{s1} , és a „b” vastagságú pályaszerkezet minden rétegének EN 12 697-24 szerint mért fajlagos alakváltozása ε_{s2} .

Új pályaszerkezet esetén a merevségek és a fajlagos alakváltozások meghatározhatók.

Meglévő pályaszerkezeti rétegek esetén mindkét érték bizonytalan, nehezen becsülhető.

Kétfajta aszfaltkeverék a

$$E_{f1} = 8000 \text{ MPa és a } E_{f2} = 4850 \text{ MPa}$$

a (16) szerint, akkor egyenértékű, ha pl.

$$\varepsilon_{s1} = 115 \mu_{strain} \text{ és } \varepsilon_{s2} = 168 \mu_{strain}$$

ahol a (12) és (15) alapján $f = 0,504$; $g = 0,668$.

Pályaszerkezet megerősítésnél a fáradási élettartamra ható ε_{s1} vagy ε_{s2} csak az erősítőrétetre hat közvetlenül, az alatta lévő meglévő pályaszerkezetre a hatás közvetett.

A $\varepsilon_{s1}; \varepsilon_{s2}$ változása nem befolyásolja a pályaszerkezetben keletkező pillanatnyi fajlagos alakváltozásokat, de az $E_{f1}; E_{f2}$ merevségek leromlási ütemére hat, így egy távolabbi „t” időpontban mérve már eltérő fajlagos alakváltozásokat kapnánk az azonos vastagságú és merevségű, de eltérő $\varepsilon_{s1}; \varepsilon_{s2}$ esetén. A biztonság kedvéért a pályaszerkezet megerősítésnél a fajlagos megnyúlások aránya $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \geq 1$, egyenlő kisebb nem lehet.

Egy „b” vastagságú pályaszerkezet $E_{f2}; \varepsilon_{s2}$ paraméterű aszfaltkeverék fáradás tekintetében, akkor jobb vagy egyenértékű „a” vastagságú pályaszerkezet $E_{f1}; \varepsilon_{s1}$ paraméterű aszfaltkeveréknél, ha teljesül a következő egyenlőtlenség:

$$b \geq a \left(\frac{E_{f1}}{E_{f2}} \right)^f \left(\frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s2}} \right)^g \quad (16)$$

Az összefüggés alkalmazható egy aszfaltkeverék különböző hőmérsékleten történő összehasonlítására is, pl. 20 °C és -10 °C-on, ahol a merevséget és a mikrostraint MSZ EN szerint laboratóriumban mérjük.

-10 °C-on a merevség jelentősen nagyobb lesz, míg az ε_2 mikrostraint csökkeni fog. Az 1 index a 20 °C-hoz, míg a 2 index a -10 °C-hoz tartozik.

A nagyobb merevséghez jelentősen nagyobb terhelő feszültség szükséges, amit az aszfaltkeverék törőszilárdsága nem fog követni, ezért a feszültség/törőszilárdság arány növekszik, amely hatványosan csökkenti a ε_2 mikrostraint.

Irodalomjegyzék:

- (1) e-UT 06.03.13:2005 „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése”
- (2) A.E.H. Love, Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. University Press, Cambridge, 1906, p. 260.
- (3) Burmister, D. M.: The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems. I. Journ. Appl. Physics, vol. 16 Febr. 1945.
- (4) Nils Odemark: Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteori. Statens Vägintstitut, Stockholm, 1949.

A képletben a merevségi hányados $\frac{E_{f1}}{E_{f2}}$ csökkenni, míg a fáradási, fajlagos megnyúlási hányadosa $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ növekedni fog.

Az összefüggés más hőmérsékleteken is alkalmazható pl. +40 °C-on, ami segítheti a fáradás szempontjából mértékadó hőmérséklet pontosítását.

5. Egyenértékűség alkalmazásának feltételei az útügyi szabályozásban

Az MSZ EN 13108-1 „Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások, 1. rész: Aszfaltbeton” szabvány 5.4.2 merevségre és az 5.4.4 fáradásra vonatkozó fejezetei meghatározzák, hogy milyen kategóriákba lehet és kell besorolni az aszfaltkeverékeket.

A besorolás az MSZ EN 13108-20 „Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások, 20. rész: Típusvizsgálat” szabvány B1. táblázata alapján meghatározott, ill. a D8. és a D9. vizsgálati módszerekből választott eljárással történhet.

Az így kategóriákba sorolt merevségi és fáradási tulajdonságú aszfaltkeverékekre alkalmazható a (16) összefüggés, ahol az $E_{fi}; \varepsilon_{si}$ paramétereket a típusvizsgálatban az aszfaltkeverékre megadott paraméterekkel kell felvenni.

A „g” hatványkitevő számításánál az E_{fi} a kisebb merevség veendő figyelembe.

A „f” hatványkitevő számításánál az forgalmi terhelési osztálynak megfelelő átlagos ε_{si} fajlagos megnyúlás veendő figyelembe.

A merevség és a fáradás eltéréséből származó szükséges aszfaltvastagsági különbségeket csak akkor tudjuk alkalmazni, ha ezt figyelembe lehet venni az útpályaszerkezet méretezési módszerét meghatározó UME előírásban is.

Célszerű, sőt szükséges lenne „D” forgalmi terhelési osztálytól kezdve megadni a típus pályaszerkezetekhez tartozó tervezési merevségeket és a fajlagos alakváltozásokat.

Felkészültek útjaink az új mobilitásra?

Breixo Gomez

igazgató
European Asphalt Pavement
Association (EAPA)



1. Bemutakozás

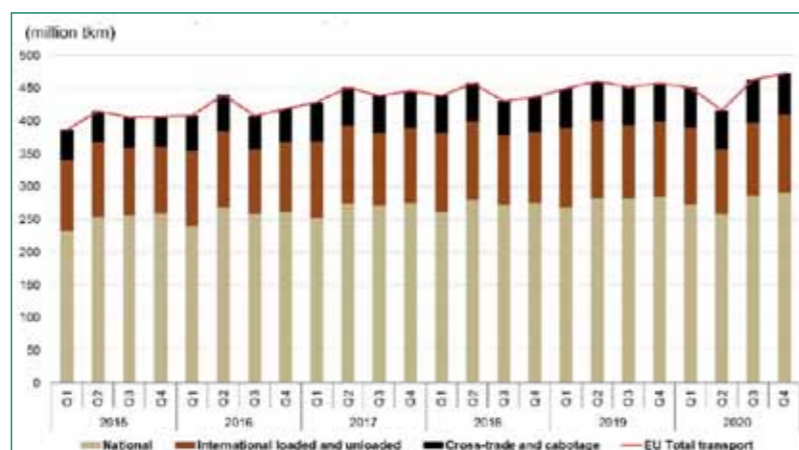
Az Európai Bizottság új növekedési stratégiát épített be az Európai Zöld Alkuba a jelenlegi éghajlati és környezeti kihívások kezelésére. E stratégia célja, hogy az EU-t egy tisztességes és virágzó társadalommá alakítsa át, modern, versenyképes és erőforrás-hatékony gazdasággal. A végső cél az, hogy 2050-re nulla nettó üvegházhatásúgáz-kibocsátást érjünk el, és a gazdasági növekedést leválásszuk az erőforrás-felhasználásról. Ennek elérése érdekében az EU olyan politikák végrehajtását tervezi, amelyek ellenálló, erőforrás-hatékony, biztonságos, klímabarát és zökkenőmentes közlekedési rendszert hoznak létre a társadalom, a gazdaság és minden polgár javára.

Az útfelületek rossz állapota számos negatív következménnyel járhat, mint például a megnövekedett üzemanyag/villamos fogyasztás, magasabb jármű- és útfenntartási költségek, károsanyag-kibocsátások és utazási késések.

Az EU-szabványoknak való megfeleléshez elengedhetetlen a minimális karbantartást igénylő, a forgalmat nem zavaró, tartós utak építése. Mindezt úgy kell megtenni, hogy biztosítva legyen a fenntartható anyagok használata, amelyek az út

élettartamának végén újrafelhasználhatók és újrahasznosíthatók.

Ez azonban nem könnyű, hiszen több olyan tényező is felbukkan, amelyek hátráltatják ezeket a célokat. Például az éghajlatváltozás szélsőséges eseményeket, például árvizeket és hóhullámokat okoz, amelyek évről évre egyre gyakoribbak. Emiatt sok európai felszíni közlekedési infrastruktúra szokatlanul gyors ütemben romlott le az elmúlt évtizedekben, ami közel járt élettartamának végéhez.



1. ábra Negyedéves közúti áru fuvarozás szállítási típusok szerint, EU-28, 2015-2020 [3]

Emellett a szállítás iránti kereslet folyamatosan növekszik. Az Eurostat [3] szerint az EU-28 országaiban a közúti teherszállítás 23,7%-kal nőtt 2015 elejétől 2020 végéig (lásd az 1. ábrát). Ez a tendencia évtizedek óta folyamatosan erősödik.

Jelenleg a közúti fuvarozási ipar történetének egyik legjelentősebb forradalmán megy keresztül az új járműtípusok, például az elektromos, autonóm és nagy kapacitású járművek bevezetése miatt. Ezek a járművek várhatóan kulcsfontosságú eszközök lesznek a közlekedésből származó kibocsátások csökkentésében [3] és a közúti biztonság javításában. Mindazonáltal súlyosbíthatják a közúti infrastruktúra feszültségét, ami idővel felgyorsult burkolatromlást okoz, és speciális terveket és megoldásokat tesz szükségessé, különösen akkor, ha egy adott úton nagyszámú ilyen „Megerősített útkövetelményekkel rendelkező jármű” (VERR) várható.

Az európai úthálózat túlnyomórészt aszfaltból készül, ami azt jelenti, hogy az ágazat felelős olyan aszfaltmegoldások kidolgozásáért, amelyek nagy teljesítményűek, és biztonságos és tartós utakat hozhatnak létre, különösen nehéz helyzetekben. Ebben a cikkben az új mobilitás lehetséges hatásait elemezzük.

2. Az új mobilitás lehetséges hatásai

2.1. Nehéz járművek

A szállítási hatékonyság növekedése és az autópálya technikai fejlődése a tengelyterhelés és a gumiabroncsok nyomásának növekedéséhez vezetett. Emellett egyre elterjedtebb a nagy nyomású szupersingle gumiabroncsok használata, és a teherautók összmege is növekszik. Ez a tendencia több nyomvályúsodást és fáradásos repedést okozhat.

2.2. Elektromos járművek

Azok az elektromos járművek, amelyek felsővezeték vagy a burkolatba ágyazott vezetősínt használnak akkumulátoruk feltöltésére mozgás közben, hajlamosak ismételt „leterhelni” az út keresztmetszetének ugyanazokat a területeit. Emiatt ezekre a területekre koncentrálnak a magas igénybevétel, ami végső soron csökkenti az út élettartamát. Ezenkívül az elektromos járművek általában nehezebbek, és jelentős nyomtatékot tudnak kifejteni a gumiabroncsok és a burkolat érintkezési pontján. Ez felületi nyomás olyan jelenségekhez is vezethet, mint például a nyomvályú.

2.3. Nagy kapacitású járművek (HCV)

A HCV-k hosszú és csuklós teherautók, amelyeket több áru szállítására terveztek, mint a szabványos járművek. Az Európai Járműgyártók Szövetsége (ACEA) tanulmánya azt mutatja, hogy ha ezeket a járműveket egy adott mennyiségű áru szállítására használják, akkor a CO₂-kibocsátás potenciálisan közel 30%-kal csökkenthető [4]. Ezen túlmenően ezek a HCV-k nagy mennyiségű áru szállítását teszik lehetővé kisebb járműszámmal. Más szóval, csökkentik a járművezetők

számának igényét, valamint az úthasználatot. Ennek eléréséhez azonban a HCV-knek növelniük kell a tengelyterhelésüket vagy a tengelyek számát, ami nagyobb burkolati igénybevételhez vagy a terhelések közötti visszaalakulási idő lerövidüléséhez vezethet. Ennek eredményeként a burkolat fáradása és/vagy nyomvályúsodása fokozódhat.

2.4. Autonóm járművek

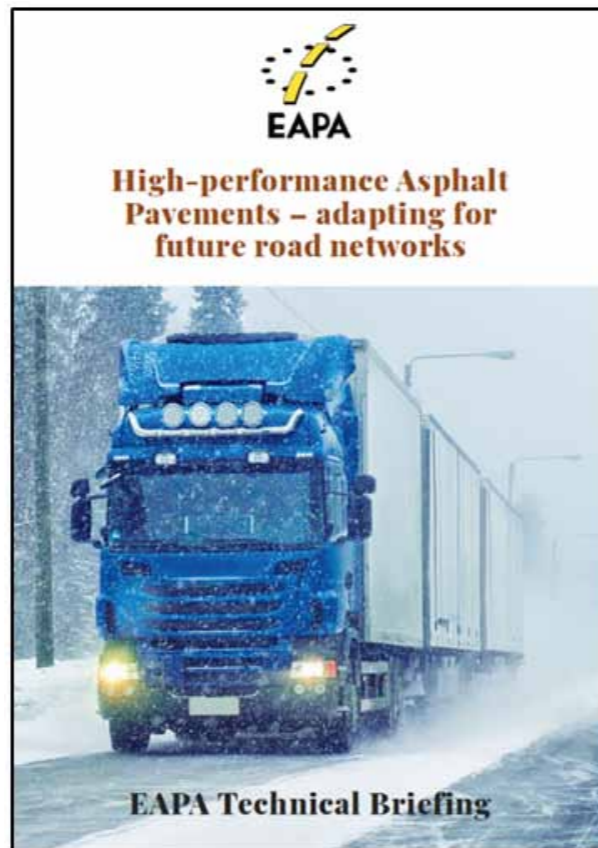
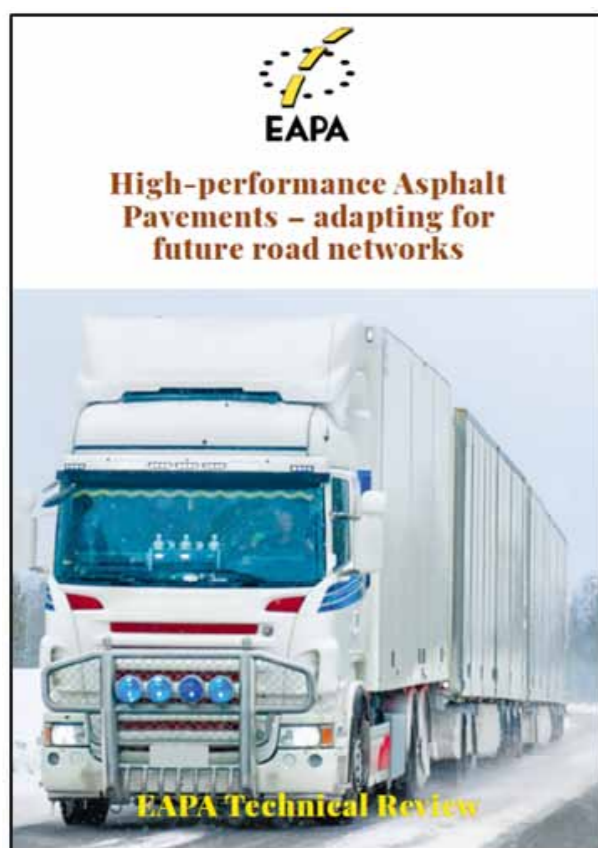
Az előző koncepció digitális továbbfejlesztése az autonóm járművek megjelenésével és az azonos sebességgel szorosan egymás mögött haladó járműszerelvénnyel létrehozásával függ össze (ez a Platooning néven ismert rendszer. A Platooning technológia lényege hogy csak az első járműben ül vezető, a többi kamion vezeték nélküli kapcsolatnak köszönhetően követi a konvoly első tagját.) Ez a módszer rendkívül előnyös a nagyobb járművek aerodinamikája szempontjából, ami az üzemanyag/villamos fogyasztás csökkenéséhez vezet. Ez azonban azt is eredményezi, hogy az útkeresztmetszet ugyanazon pontján az egymást követő terhelések között rövidebb a burkolat helyreállítási ideje. Ez a jelenség ismét az út idő előtti nyomvályúsodását és/vagy kifáradását okozhatja. Ezen túlmenően, hasonlóan az elektromos járművekhez, ezek is hajlamosak a sáv közepére helyezkedni, ami a túlterhelt területek idő előtti leromlását okozhatja, nyomvályús és/vagy kifáradási repedések formájában.

3. Készen áll az európai aszfaltipar?

Az aszfaltipar több évtizeden keresztül speciális útburkolati megoldásokat hozott létre a nagy igénybevételnek kitett területeken, mint például a kikötőkben, repülőtereken és autópályákon, ahol nagy teherbírású forgalmat bonyolítanak le. Ezek közé tartozik a nagy teljesítményű felületi rétegek, például az SMA, a nagy modulusú alaprétegek és a fejlett koncepciók, például a fáradásgátló alsó rétegek vagy a három rétegű SMA használata. Ezenkívül fontos szempont az optimális logisztika és az érdekelt felek közötti koordináció. Ahogy új kihívások merülnek fel, lehetséges, hogy a jövőbeni úttervek egyre inkább alkalmazzák az ilyen típusú megoldásokat.

Ezzel kapcsolatban az EAPA a közelmúltban két dokumentumot tett közzé, amelyekben konkrét megoldásokat határoztak meg a fent ismertetett lehetséges hatások minden típusára. Az egyik dokumentum egy Műszaki Szemle, amely kiterjedt és tömény műszaki információkat tartalmaz az ipar számára. A másik, a Technical Briefing a főbb pontok összefoglalását tartalmazza egy olyan közérthető nyelven, amelyet a nem szakmai közönség is könnyebben érthet. Mindkét dokumentum letölthető az alábbi linkekről:

- Műszaki áttekintés: <https://eapa.org/how-does-eapa-help-to-implement-asphalt-40-view/>
- Műszaki tájékoztató: <https://eapa.org/high-performance-asphalt-pavements-eapa-technical-briefing-view/>



2. ábra. Az EAPA kiadványai az új mobilitás hatásaival kapcsolatos aszfaltmegoldásokról

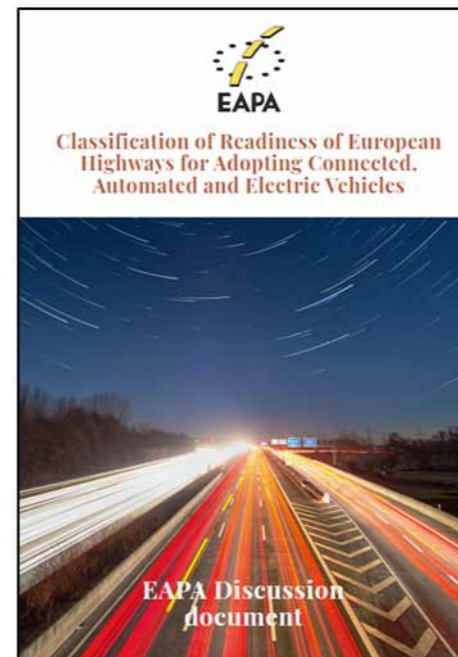
Az EAPA YouTube-csatorna videóiban ugyanezen ötletek tájékoztatója látható. Ez a videó, amely a Generation Asphalt sorozathoz tartozik, elmagyarázza, hogy az európai aszfaltágazat teljesen felkészült, és képes támogatni a fokozott útigényű új járművek forgalmát, valamint adaptálni az európai úthálózatot ahol szükséges.

Végül az EAPA 2020-ban közzétette az utak javasolt osztályozását is, amely egyszerű módon tájékoztathatja a

vezetőt és/vagy a járművet az automatizált és villamosított vezetést támogató, elérhető technológiákról. Ugyanakkor megadják azokat a kulcsparamétereket, amelyek egy adott osztályú út/szakasz megadásához szükségesek. Ezért a közúti hatóságok hivatkozhatnak a javasolt besorolásra, hogy meghatározzák a szükséges intézkedéseket annak érdekében, hogy lehetővé tegyék a járművek mozgását a kívánt automatizálási és villamosítási szint mellett.



3. ábra: A Generation Asphalt videó miniatűrje, amely elérhető az EAPA YouTube csatornáján



4. ábra: EAPA dokumentum az utak javasolt besorolásával attól függően, hogy mennyire képesek az új úthasználókat fogadni.

Ez az érdekes dokumentum letölthető a következő linkről: <https://eapa.org/classification-of-readiness-of-european-highways-for-adopting-connected-automated-and-electric-vehicles-vieww>

4. Konklúziók

A jelenlegi EU-követelményeknek való megfeleléshez az utaknak ellenállónak, tartósnak kell lenniük, és minimális

karbantartási műveleteket és forgalmi zavarokat kell igényelniük. Mindazonáltal különböző tényezők gátolhatják e célok elérését, mint például a klímaváltozás, a növekvő kereslet és tengelyterhelés a közúti közlekedésben, illetve olyan új járműtípusok megjelenése, amelyek bizonyos jellemzőkkel rendelkeznek, ami a burkolatok korai károsodását okozhatja.

Az idő előtti burkolatromlás elkerülése érdekében fontos megfontolni a nagy teljesítményű burkolati megoldások alkalmazását. Ez azzal járhat, hogy jelenlegi burkolattervekben elmozdulunk a hagyományosan nagy igénybevételnek kitett burkolatokon alkalmazott technológiák felé. Ezek a megoldások magukban foglalják a nagy teljesítményű felületi rétegek, például az SMA, a nagy modulusú alaprétegek és a fejlett koncepciók, például a fáradásgátló alsó rétegek vagy a három rétegű SMA használatát. Ezenkívül fontos szempont az optimális logisztika és az érdekelt felek közötti koordináció.

Míg ezeknek a megoldásoknak egy részét évek óta használják, másokat kifejezetten az ilyen típusú burkolatokhoz fejlesztettek ki az elmúlt évtizedben. Az eredmények minden esetben kielégítőek voltak.

Az európai aszfaltágazat teljesen felszerelt, és képes segítséget nyújtani a fokozott útigényű új járművek forgalmának befogadásához, valamint az európai úthálózat szükség szerinti átalakításához.

5. Záró megjegyzések

Ezek a témák nagy jelentőséggel bírnak az európai aszfaltágazat számára. Ennek bizonyítéka a legutóbbi E&E Congress 2021 (online) és a Bécsben megrendezett E&E Event megbeszéléseire szánt meghosszabbított idő.

A megbeszélések minden kétséget kizáróan a közelgő E&E Congress 2024 során is folytatódnak, amelyre Budapesten kerül sor 2024. június 19-21. között.



Innováció a burkolatépítés ellenőrzésére – a beépítő személyzet biztonsága

A tartalomért felelős: - Leandro Harries, M.Sc. (Darmstadti Műszaki Egyetem, Közlekedési Infrastruktúra Mérnöki Intézet)

David Kempf, M.Sc.



tudományos asszisztens
M.Sc.

Az aszfalt bedolgozó gép üzemeltetése

Az aszfaltológép üzemeltetése rendkívül összetett feladat. Már a gépparaméterek vagy az aszfaltkeverék kis változtatása is burkolathibákhoz vezethet. Ezeket utólag még a hengerek ügyes használatával sem lehet megjavítani. Így a simítótag megfelelő működésére a teljes burkolási és tömörítési folyamat során különös figyelmet kell fordítani. A terítés burkolócsapatának egyszerre sok feladatot kell elvégeznie. Ezek a következők:

- A rétegvastagság ellenőrzése
- Az oldalesés - és annak szabályozó rendszerének - ellenőrzése
- A keverék ellenőrzése a simítótag előtt
- Az előtömörített felület vizuális ellenőrzése
- A tömörítő egységek működése (döngölőel, vibrációs egység, nyomórudak, ha vannak)
- A szintezőrendszer beállítása és működtetése
- A szélesítő egységek vezérlése

Ezenkívül állandó változások történnek, amelyekre megfelelő reakcióra van szükség. Nemcsak az út nyomvonalát és a berendezési tárgyakat, például aknafedeleket kell figyelembe venni, hanem az aszfaltkeverék összetételének változásait is. Az éghajlati viszonyok is folyamatosan változhatnak. Például egy ingadozó keverékhőmérséklet megváltoztatja a burkolandó aszfaltkeverék tömörödését és áramlási viselkedését, ami viszont befolyásolja a simítótag lebegési viselkedését. Ha nem tesznek semmit, az negatív hatással lehet a lefektetett aszfaltburkolat egyenletességére.

Bár számos irányelv sok hasznos tanácsot ad a hengerelt aszfalt burkolatok építésére vonatkozóan, nem lehet minden eshetőséget és változatot figyelembe venni. Ez

továbbra is megköveteli a burkoló munkások intuíciónál és empirikus tudását, amely munkásonként változhat. Így a burkolat minősége nemcsak a környezeti feltételektől és magától az aszfaltkeveréktől függ, hanem a burkolók egyéni tapasztalataitól is.

A veszélyes zóna: a terítőgép simítótagja

A terítőgép üzemeltetése során az üzemeltető az építési projekttől és a burkolat körülményeitől függően számos veszélynek van kitéve. Például a bitumenekből származó gőzök és aeroszolok. Az ezekből mért expozíciós értékek (vö. 1. ábra) jelenleg körülbelül 12,5 mg/m³-es nagyságrendben vannak hengerelt aszfaltburkolatok esetében. A környezeti feltételektől függően az értékek jelentősen eltérhetnek. Ez aggodalomra ad okot, mert a jelenlegi ismeretek szerint a bitumenből származó gőzök és aeroszolok ilyen szintű kitétsége hosszabb ideig valószínűleg káros egészségügyi hatásokkal jár. Ezért Németországban új, 1,5 mg/m³-es foglalkozási expozíciós határértéket vezettek be. 2024 végéig az érintett iparágak egy ötéves átmeneti időszak alatt állnak, amíg az új előírásokat kötelezővé teszik. Az aszfaltipar már készen áll néhány megoldással. A Német Aszfaltszövetség (DAV) például olyan ökölszabályt ad, amely szerint az aszfaltkeverék hőmérsékletének 10 °C-kal történő csökkentése már 50%-kal csökkenti a munkahelyi gőzöknek és aeroszoloknak való kitétséget. A gépgyártók olyan kezdeti újításokkal is előálltak, mint például egy levegő elszívó rendszer, amely a terítőgép előtti területen vonja ki a bitumengőzőket, és azokat egy nem kritikus területre szállítja. A közelmúltban végzett mérések azonban azt mutatták, hogy ezen intézkedések egyike sem képes minden körülmények között megfelelni az előírt 1,5 mg/m³ munkahelyi expozíciós határértéknek.



1. ábra: Aeroszol és gőz expozíció hengerelt aszfalt hagyományos építése során

A gőzöknek és aeroszoloknak való kitétség mellett az építési terület melletti forgalom valós veszélyt jelent (vö. 2. ábra). Az építkezés és az áramló forgalom közötti területen végzett munka során a halálos balesetek kockázata többszöröse nő. A német Munkahelyi Műszaki Szabályok (ASR A5.2) ezért 2018 óta vannak érvényben. Ezek nagyobb biztonsági teret biztosítanak

az építkezéseken dolgozók számára, és így növelik az építkezések védelmét a közúti forgalomból eredő veszélyekkel szemben. A megnövekedett helyigény azonban azt jelenti, hogy a felpályás lezárás melletti építési mód sokszor nehezen kivitelezhető. Ráadásul a mozgó forgalom veszélyei még egy további biztonsági tér bevezetésével sem küszöbölhetők ki teljesen.



2. ábra: Korlátozott munkahelyi körülmények

Innovatív megoldások

A nagy kihívások és a megvalósítás nehézségei ellenére az említett problémák megoldásának egyik lehetséges módja a burkolat építési folyamat (részleges) automatizálása. Középtávon nem automatizálható a fizikai személyzet minden feladata. Ha azonban a kritikus részfeladatok automatizálhatók, akkor a burkolat készítésében részt vevő kezelőket ki lehet mozdítani a veszélyzónából, így az üzemeltetési feladatok fokozatosan csökkennek, és az irányítási feladatok felértékelődnek.

Az alacsonyabb stressz- és balesetveszély biztosításán túl a részfolyamatok automatizálása egy másik döntő lehetőséget kínál: az aszfaltburkolat minőségének leválasztását a burkolók egyéni tapasztalataitól. Összességében így hosszú távon egységesebb eredmények érhetők el, ami a burkolat minőségének javulását eredményezi.

A minőségbiztosítás és az esetleges minőségjavítás érdekében azonban szükséges a teljes folyamatot a szállítástól a terítésen át a tömörítésig egy összefüggő rendszerként tekinteni. A 3. ábrán látható teljes aszfaltburkoló folyamat rendszerstruktúrája mind a burkológépben lévő lényeges funkcionális szekvenciákat, mind pedig a minőségi rögzítésben egyre fontosabb szerepet játszó aszfaltkeverő üzem, burkolat, henger és felhő közötti kommunikációs utakat hivatott ábrázolni. Együtt az ellenőrzést a burkolat minősítési paraméterei tekintetében.

Az olyan tipikus minőségi adatokon kívül, mint a rétegvastagság, a burkolat hőmérséklete, a tömörítés mértéke, az egyenetlenség és az anyag típusa, az összes gépbeállítás, a haladási sebesség, a folyamatos pozícióinformációk az idő függvényében, az aszfalt mennyisége, a munkaterület metaadatai és az időjárás

adatok is megtalálhatók, ami szükséges a későbbi értékelésekhez. A felhő által szolgáltatott adatok az úttervezés, a burkolat építési folyamat peremfeltételei, az anyaglogisztikai információk, esetleg az aszfalt hűlési viselkedésével kapcsolatos új eredmények, és szükség esetén a GNSS rendszer korrekciós adatai.

Felületi egyenetlenségek automatikus észlelése

A hengerelt aszfalt készítésekor az egyik kihívás a lehető leghomogénebb aszfaltburkolat készítése. A felület egyenetlenségei, például a bitumen felhalmozódása nemcsak a felületreleváns tulajdonságokat (pl. csúszásállóságot) befolyásolhatják negatívan, hanem az aszfaltszerkezet inhomogenitására is utalhatnak. Az egyenetlenségek típusától és mértékétől függően az aszfaltburkolat teljesítményi tulajdonságai romlanak.

A potenciálisan vizuálisan kimutatható egyenetlenségek és szegregációk négy felsőbb kategóriába sorolhatók (termikus szegregáció, mechanikai szegregáció, bekarcolódás vagy foltszerű lenyomat, valamint szemcsetöredezettesség). A kifejlesztett kamera/vaku rendszer (vö. 4. ábra) és mérési módszere képes kimutatni ezeket az egyenetlenségeket, szegregációkat.

A rendszer működtetéséhez egy erőteljes villanófényt irányítanak az előtömörített aszfaltburkolat felületére meghatározott szögben. A bevezetett oldalsó villanófény miatt a felület egyenetlenségei árnyékot vetnek, amelyet a képelemző kiértékelés során használnak fel az egyenetlenségek kimutatására. A vaku képes "túlvillantani" a napsugárzás hatására vetődő árnyékokat, így ezt nem veszik figyelembe az értékelésnél.

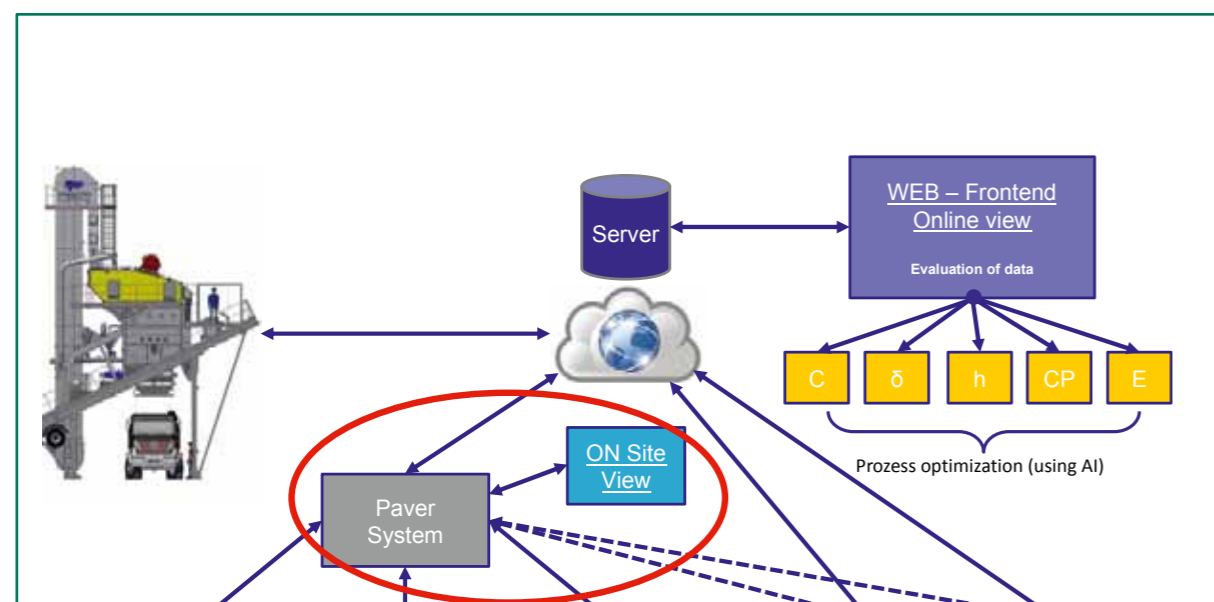


4. ábra: Helyszíni teszt – Kamera/vaku rendszer a finisherhez csatlakoztatva

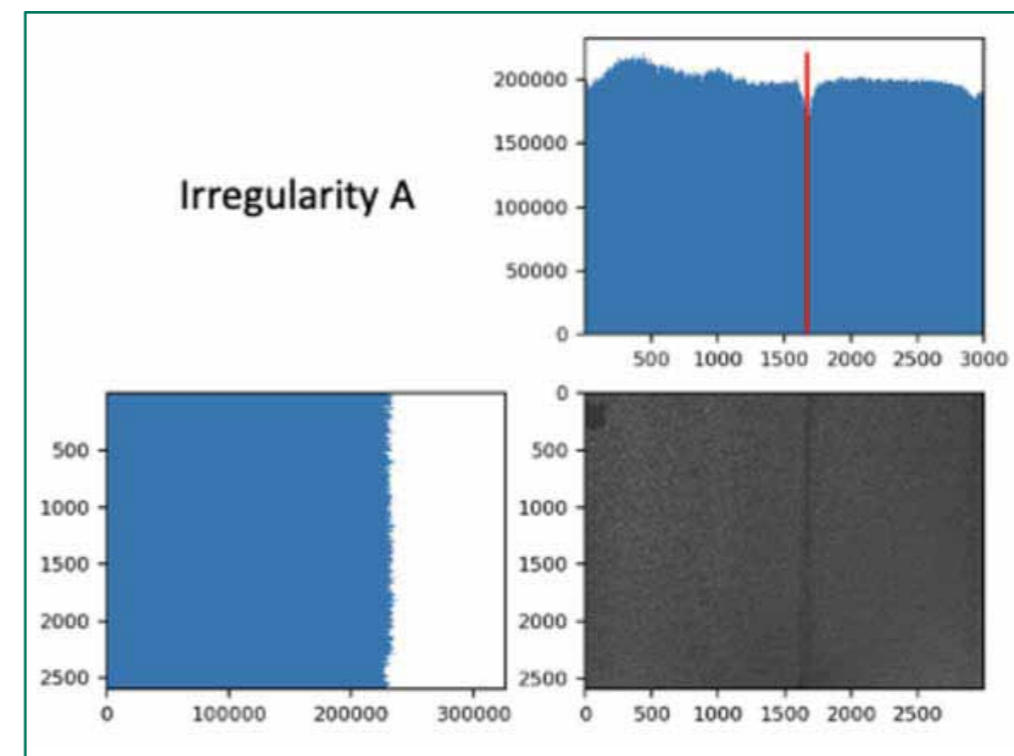
Az alacsonyabb megvilágítás, és ezért a vaku forrásától távolabb eső helyeken kevésbé kifejezett árnyékok az ismert ϵ beesési szöggel és az l távolsággal számolhatók az alábbi egyenlet segítségével.

$$E_v \approx \frac{\Phi_v}{\Omega(l^2)} \cos(\epsilon)$$

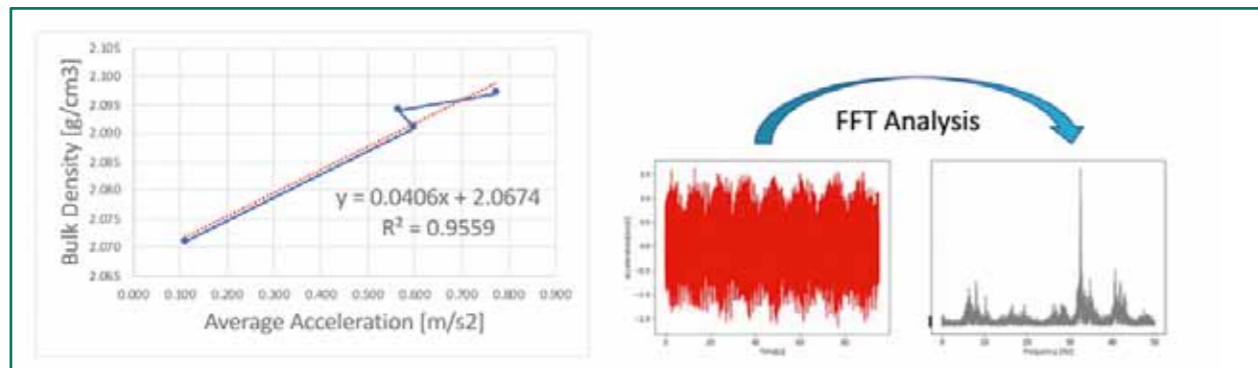
Az aszfaltfelület képelemzése olyan eszközzel történik, amely képes a képfelvételek kivágására, illetve nem ortogonális rögzítés esetén a kép átalakítására. A szürke érték nézet az átlagos küszöbérték kiszámítására és a megvilágítási értékek meghatározására szolgál egy kifejlesztett pixelszámláló módszerrel (vö. 5. ábra).



3. ábra: Aszfaltburkolati és tömörítési folyamat rendszerfelépítése



5. ábra: A szürkeérték nézet és a pixelszámlálási módszer megjelenítése



6. ábra: A simítópad rezonancia frekvenciájának vizsgálata FFT analízissel

Bár a leterített réteg tényleges tömörségét az előtömörített állapotban jelenleg a burkolók nem tudják folyamatosan rögzíteni, ennek ismerete jelentősen hozzájárulhat a terítési és tömörítési folyamat optimalizálásához.

A rendszertől és az terítőpad beállításától függően a burkológép a Marshall tömörséget kb. 80% és 95% között teljesíti. A maradék tömörítés a végső tömörítési állapot eléréséhez hengerek használatával valósul meg. Az előtömörítési eljárással ellentétben a hengerdob alatti nyomó- és nyíróerők kombinációja lehetővé teszi az adalékanyag vízszintes átrendezését, ami pozitív hatással van a merevségre és így az anyag általános tulajdonságaira. Ennek érdekében az aszfalt hőmérsékletén és homogenitásán túl fontos, hogy a hengerek előtt megfelelő előtömörített aszfaltburkolat legyen

A ROBOT 4.0 kutatási projekt részeként ezért olyan rendszert teszteltek, amely a simítópad rezonanciafrekvenciája alapján képes lenne meghatározni az előtömörítés mértékét. Ez egy gyorsulásérzékelőből áll, amely a simítópad alsó részébe van szerelve, valamint egy mikroszámítógépből az adatok rögzítésére és feldolgozására.

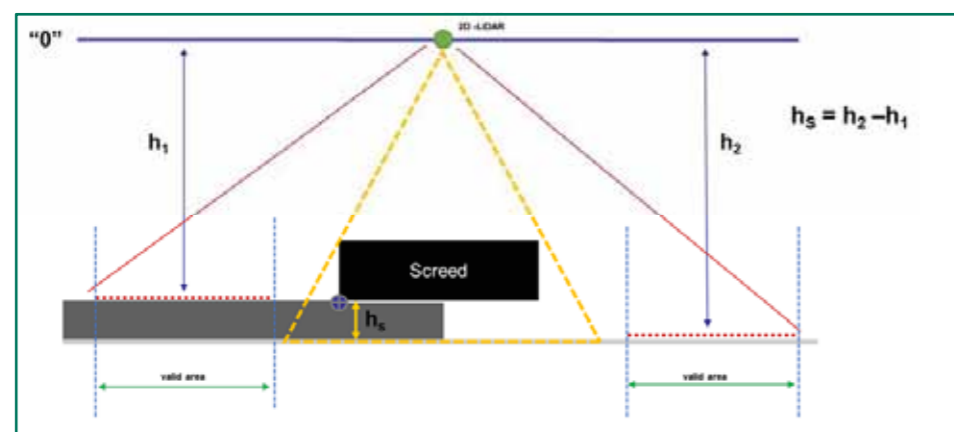
A simítópad beállításait (frekvencia változtatás, rezgési frekvencia) szisztematikusan megváltoztató próbabeépítés eredményeit a 6. ábra mutatja. A magnál mért sűrűség és az átlagos gyorsulás között szoros összefüggés van. Ez azonban csak a szélsőséges értékek (0,1 m/s² és 0,8 m/s²

közötti átlagos gyorsulások) megfigyelésére vonatkozik. Gyakorlati burkolat építésnél viszont jóval kisebb átlagos gyorsulási tartományra kell számítani (kb. 0,5 m/s²-0,8 m/s²), amelynél lényegesen gyengébb összefüggések várhatók az alkalmazott rendszerrel. Mindazonáltal az előzetes vizsgálatok jelezték a rendszerben rejlő lehetőségeket, amelyek optimalizálása esetén kiaknázzhatóak.

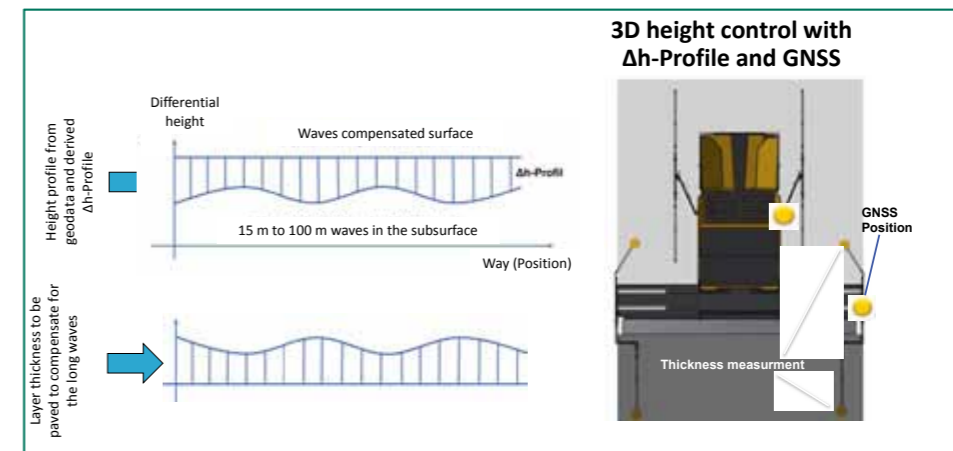
Rétegvastagság ellenőrzés

A rétegvastagság mérése kulcsfontosságú az autonóm oldalesés szabályozás bevezetéséhez, mivel maga a rendszer csak átmenetileg biztosítja a beállított rétegvastagság fenntartását.

Maga a mérési elv egyetlen LiDAR érzékelőn alapul, amely a simítótag felett van elhelyezve. Az érzékelővel először meg lehet határozni az érzékelő és az alap relatív magasságát. Ezzel egyidejűleg meghatározzák a burkolt réteg és az érzékelő közötti relatív magasságot. Ezt követően a rétegvastagság a magasságkülönbségből számítható ki. A módszer előnye, hogy nincs szükség kalibrálásra, mivel az eredmények mindig az érzékelő nulla pozíciójára vonatkoznak. Mindaddig azonban nem sikerült kielégítő precíziót elérni a rétegvastagság meghatározásához. A 7. ábra az érzékelő alapvető elrendezését és a hozzá tartozó mechanikát mutatja be.



7. ábra: A LiDAR-vastagságmérő rendszer sematikus illusztrációja



8. ábra: Vastagságmérés GNSS-Position használatával

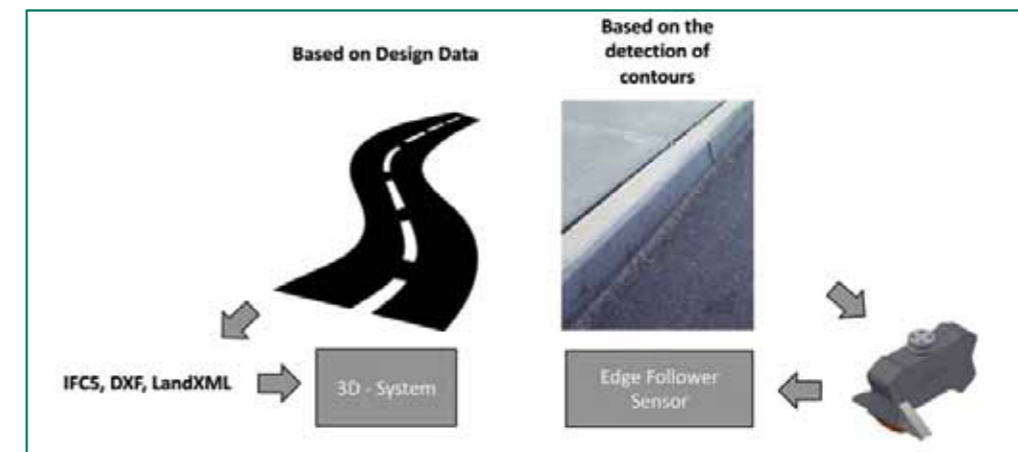
A beépítés másik nehézsége az alapfelület egyenetlenségeinek kezelése a hosszú hullámtartományban (vö. 8. ábra). Az aljzattól függően ezek a hosszuhullámú egyenetlenségek 15 m és 100 m közötti tartományban fordulnak elő. A hagyományos rétegvastagság mérésekkel az a probléma, hogy az ilyen típusú egyenetlenségeket teljesen figyelmen kívül hagyják, mivel csak pontszerű méréseket végeznek. Következésképpen ezek a hosszú hullámokat közvetlenül átveszik az újonnan burkolt aszfaltretek. A javasolt megoldás a hosszuhullámú egyenetlenségek figyelembevétele 3D-s profilon (tervezési adatok) keresztül, amelyet előzetesen el kell készíteni. A simítótag GNSS helyzetének felhasználásával a rétegvastagság különbségek pontosan figyelembe vehetőek. Így a burkolólap negatív magassági profilja jön létre, amely hengeres tömörítés után nem csak a rövidhullámú, hanem a hosszuhullámú tartományban is egyenletes profilhoz vezet.

Simítótag szélesítés vezérlése

A simítótag szélesítés vezérlése olyan feladat, amely lefoglalja a burkolatépítésnél dolgozókat, különösen a belterületen, de a városon kívüli szűkebb sugarú vonalveze-

tésnél is. Ebből a célból az alább említett projekteken belül két rendszert fejlesztettek ki (vö. 9. ábra). Az első rendszer szintén a tervezési adatokon és az aszfaltozó GNSS helyzetén alapul. Itt további GNSS pozíciókat kell biztosítani a bővítőegységeknél. A finisher ismert helyzetének és a tárolt tervezési adatoknak köszönhetően a szélesítő egységek autonóm módon illeszthetők az út kialakításához. A rendszer tehát szenzorfüggetlen.

Egy másik lehetőség a kifejlesztett Edge Follower Sensor használata. A bemutatott burkolatvastagságmérő rendszerhez hasonlóan ez az érzékelő is LiDAR technológián alapul. Az érzékelő képes érzékelni a különböző kontúrokat (pl. mart élek, járdaszegélyek, sávjelzések). Ezért sokoldalú, és városi és városon kívüli területeken egyaránt használható. Az érzékelőtől származó információ egy interfészen keresztül kerül továbbításra, és ennek megfelelően vezérlik a simítótag szélesítő egységeit. A kibővített vezérlőrendszer a simítótag kezelő személyzet számára lehetővé teszi az érzékelő rövid időre történő kikapcsolását, ha például az úton lévő aknáknak esetén a vezérlést manuálisan kell átvenni. Hosszú távon az is elképzelhető, hogy a két rendszert összevonják, hogy a bővítőegységek teljesen önállóan működhessenek.



9. ábra: A simítótag szélesítés vezérlésére szolgáló rendszerek

Köszönetnyilvánítás

A bemutatott eredmények két kutatási projektben végzett kutatás részét képezték:

- ROBOT Strassenbau 4.0 (FE: 88.0159/2017), a BAST (Német Szövetségi Autópálya-kutatóintézet) által finanszírozott.
- A közúti infrastruktúra integritásának, teljesítményének és biztonságának fenntartása autonóm robotizált megoldásokkal és modularizációval” – „InfraROB”, „Ez a projekt az Európai Unió Horizont 2020 kutatási és innovációs programjából kapott finanszírozást a 955337. sz. támogatási megállapodás alapján”.



Felhasznált irodalom

- [1] R. Rühl and E. Lechtenberg-Auffarth (2010): Registrierung, Expositionsdaten und Festlegung eines DNEL – ein Beispiel in Bitumen
- [2] Source: https://www.rhein-zeitung.de/region/aus-den-lokalredaktionen/oeffentlicher-anzeiger_artikel,-regen-und-dampf-als-gefaehrliche-mischung-asphaltarbeiten-an-neuer-b-41-umgehung-abgebrochen- arid,2048167.html
- [3] Uwe Ellmers (2015): Die Arbeitsstättenregel ASR A5.2 Auswirkungen auf die “Richtlinien für die Sicherungen von Arbeitsstellen an Straßen” (RSA), Straße und Autobahn (Kirschbaum Verlag)
- [4] Source: <https://www.thepeterboroughexaminer.com/news/peterborough-region/2021/07/21/photos-asphalt-work-slows-traffic-on-the-james-a-gifford-causeway.html>

HAPA tanulmányút az AMMANN gyárban – RAP visszaadagolást lehetővé tevő aszfaltkeverők

Dr. Füleki Péter

Innovációs technológiai
főmérnök
Colas Hungária Zrt



Koch Domonkos

műszaki ellenőr
MKIF Zrt



1. Bevezetés

Az elmúlt évben, 2022. május 8-10. között került megrendezésre az év első HAPA által szervezett tanulmányútja, Magyar Aszfaltipari Egyesülés és az AMMANN Ausztria együttműködésének köszönhetően. A tanulmányút középpontjában a mart aszfalt keverőtelepi újrafelhasználásának lehetőségei álltak. Az úticél az olaszországi Bussolengo volt, ahol az AMMANN lehetőséget biztosított arra, hogy a résztvevők meglátogassák az ott működő aszfaltkeverőgyártó üzemüket, valamint részletesen bemutatták, hogy milyen technológiai megoldásaik, fejlesztési irányaik vannak gazdaságosabb mart aszfalt adagolásra.



1. kép - Az AMMANN keverőtelepgyártó üzeme Bussolengo-ban

2. Az AMMANN

Vendéglátónkat, az AMMANN-t, nem szükséges bemutatni, ugyanis a világ egyik legnagyobb építőipari eszközgyártója.

A vállalatot 1869-ben alapították Svájcban, így a vállalat már 154 éve működik a gépgyártóiparban. Kezdetben malomgyártással foglalkoztak, majd 1908-ban bemutatták az első, útépítéshez kapcsolódó gépüket, aminek a feladata az utak portalanítása volt. 1930-ban nyitották első külföldi üzemüket Franciaországban, majd 1956-tól kezdték meg a nagyüzemi gépgyártást a Langenthal-i üzemben.

Azóta a világ számos pontján alapítottak leányvállalatot (a teljesség igénye nélkül: az Egyesült Királyságban, Ausztriában, Lengyelországban, az Egyesült Államokban, Dubaiban, Ausztráliában és 2011-ben Olaszországban, Bussolengóban).

Napjainkban összesen 3000 főt foglalkoztatnak, több mint 100 országban, szerte a világon.

A termékkínálatuk igen széles: a könnyű tömörítő eszközöktől, a nagy földmunkás és aszfalt hengereken át, a finisherekig, valamint fix és mobil aszfalt- illetve betonkeverőkig.



3. A Bussolengo-i üzem

A Bussolengo-i összeszerelő üzemet eredetileg két olasz úriember, Turrini és Bonardo alapította 1960-ban, miután úgy vélték az Olaszországban elérhető keverők minősége nem megfelelő, ellenben drágán elérhetők. Ezért úgy döntöttek, először saját felhasználás céljából építenek aszfaltkeverőt, a SIM nevű vállalat égisze alatt, majd hamarosan egész Olaszország, később pedig Európa-szerte keresetté váltak a keverőik. 1980-ban épült fel a ma is működő üzem Bussolengóban, mintegy 4 hektáron. 1991-ben csatlakoztak az AMMAN csoporthoz, 2011-ben olvadtak össze, és vált a Bussolengo-i telephely az AMMANN egyik fő aszfaltkeverő-gyártó üzemévé Európában. Ebben az üzemben csak aszfaltkeverőket szerelnek össze, fejlesztéseik középpontjában az energiatakarékosság és a mart aszfalt magas arányú visszaadagolásának különböző megoldásai állnak.

Egy részletes prezentáción keresztül az AMMANN munkatársai bemutatták a RAP visszaadagolást lehetővé tevő technológiák elméleti oldalát, majd egy vezetett gyárlátogatáson lehetőséget biztosítottak arra, hogy testközből szemügyre vegyünk a keverők szerkezeti elemeit, illetve az összeszerelési művelet teljes folyamatát.



1. ábra – Az AMMANN által kínált megoldások a mart aszfalt keverőtelepi adagolására

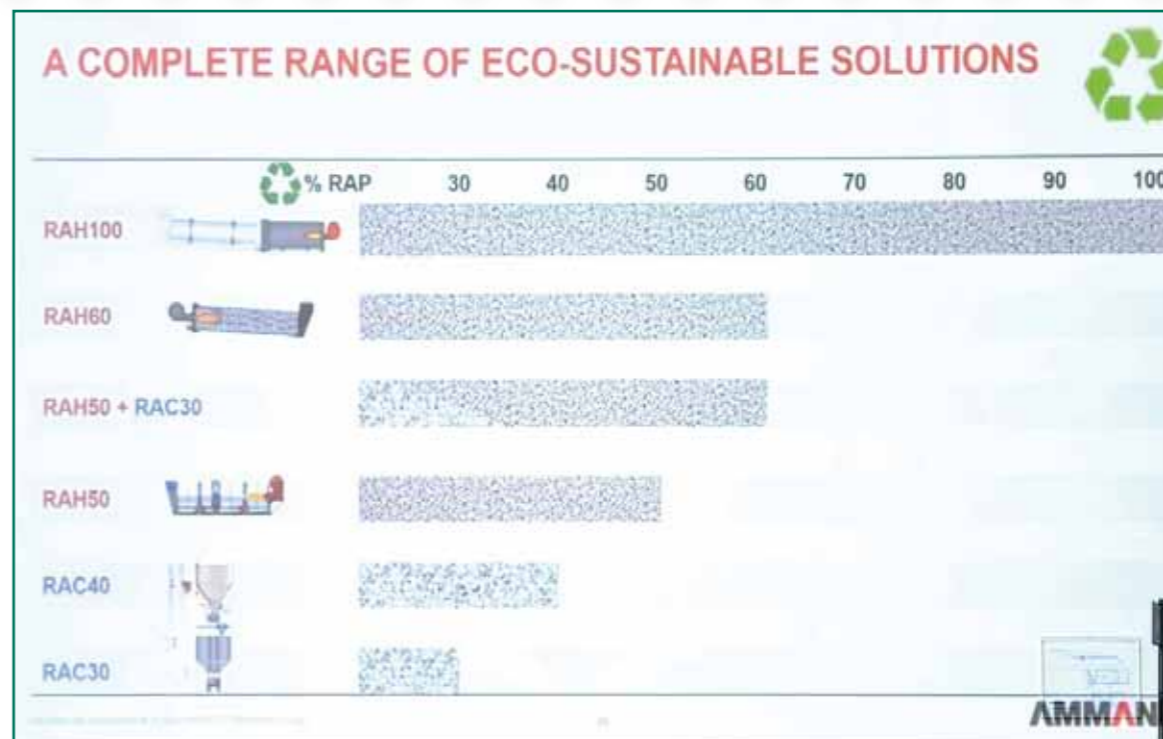


4. Mart aszfalt visszaadagolás az AMMANN keverőivel

A Bussolengo-i üzemben többféle keverőgéptípust gyárt az AMMANN, amiről a HAPA küldöttsége maga is meggyőződhetett. A gyártócsarnokokban látható volt, hogy az alkatrészek is globálisan a világ több részéről érkeznek a telephelyre és az itt összeszerelt keverőgépek is világszerte találják meg vevőiket. Gyakorlatilag innen elégítik ki az afrikai és az európai piacok igényeinek jelentős részét. Azonban, ha e két régió aszfaltkeverőkkel szemben támasztott igényeit tekintjük át, látható, hogy sokrétű, eltérő megoldásokra van szükség. Míg az afrikai piacon egyszerűbb, gyorsan telepíthető mobilkeverőkre, addig az európai piacon magas mart aszfalt visszaadagolást lehetővé tevő, komplex aszfaltkeverőkre van igény (1. ábra).

Az AMMANN nem kizárólag a hideg vagy a meleg mart aszfalt adagolásra kínál megoldásokat. Érdekes volt látni a gyártóüzemi látogatás és a prezentált előadás során is, hogy a különböző technológiák és gépészeti megoldások kombinálásával is elérhető a magasabb RAP adagolási mennyiségek (2. ábra).

Az AMMANN által kínált megoldások lehetővé tehetik, hogy akár a hazai útügyi műszaki előírásban megengedett



2. ábra – Az AMMANN által kínált keverőtelepi megoldások a mart aszfalt maximális beadagolási mennyiségét tekintve

mart aszfalt adagolási mennyiségek felső határán történjen meg az aszfaltgyártás. Érdekes információ volt, hogy az 50-60% nagyságrendű RAP visszaadagolásra a vendéglátó cég háromféle megoldást is kínál (2. ábra), amelyeknek különböző beruházási költsége mellett más-más előnyei lehetnek. Ugyanakkor a cég műszaki vezetője előadásában is felhívta a figyelmet arra, hogy a mart aszfalt újrafelhasználás előtti kezelése és deponálása kulcsfontosságú lehet az elméleti maximális határ közelében történő aszfaltgyártás szempontjából. A nem megfelelően kezelt vagy deponált másodlagos nyersanyag minőségi problémákat, nemmegfelelőségeket eredményezhet magas adagolási arány mellett még akkor is, ha az aszfaltkeverő ezt gépészetileg lehetővé teszi.

5. Összefoglaló

A tanulmányút során értékes tapasztalatokkal és szakmai kapcsolatokkal gazdagodtunk. A hazai szabályozás a 2021. évi módosítással már lehetővé teszi a mart aszfalt olyan mértékű újrafelhasználását, amit egyre inkább érdemes, és előbb-utóbb szükségszerű lesz kihasználni. A keverőtelepi technológiának ezeket az igényeket ki kell tudni szolgálni, erre a gyártók már széles körben kínálnak lehetőséget. Az aszfalt 100%-ban újrahasznosítható, nem hulladék, hanem értékes másodlagos nyersanyag, ami minimális szállítási távolságon belül elérhető.

Köszönjük a lehetőséget a HAPA-nak és az AMMANN Ausztriának!



3. kép – A HAPA küldöttsége Veronában

Innovatív brikettáló és betontechnológiai rendszer bevezetése a MAB Pharma Zrt.-nél

Frank Tamás



vezérigazgató
MAB/Pharma Zrt.



Széchenyi Terv Plusz
Építjük együtt Magyarországot!



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA



Az Európai Unió
társfinanszírozásával

Sajtóközlemény

Cím: Innovatív brikettáló és betontechnológiai rendszer bevezetése a
MAB Pharma Zrt.-nél
2023/01/25

A MAB Pharma Gyógyszergyártó és Kereskedelmi Zrt. hazánk egyik leginnovatívabb betontermék és brikettáló üzemét építi fel Kisnánán. A XXI. századi kritériumrendszernek minden szempontból megfelelő zöld mezős beruházás a Széchenyi Terv Plusz program GINOP Plusz-1.1-2-21 pályázat keretében valósul meg.

A fejlesztés eredményeként innovatív, hőszigetelő és magas stabilizáltságú betontermékek gyártása válik lehetővé. A testreszabott technológia lehetőséget ad brikettek tömeges előállítására, azaz környezetvédelmi szempontból veszélyes anyagok stabilizált formába történő zárására, tárolására, feldolgozására, újrahasznosítására.

A projekt 4 fő elemből áll, a brikettáló és betontermékgyártó üzem építéséből, a gyártáshoz szükséges egyedi tervezésű automatizált technológiafejlesztésből, a villamos felhasználás csökkentését szolgáló napelemes rendszerből, valamint a termékek népszerűsítése érdekében külföldi szakmai kiállításokon és vásárokon történő részvételből.

A 2023.12.31. napjáig befejeződő beruházás összköltsége 1 593,09 millió forint, ami 796,55 millió forint feltételes visszafizetés nélkül európai uniós támogatás segítségével valósul meg.

További információ kérhető:
Szalai György cégvezető, sajtóreferens
+36 30 173 4880, szalai.gyorgy@mab.co.hu

A projekt szakmai tartalma:

Cégünk hazánk egyik leginnovatívabb betontermék és brikettáló üzemét tervezi felépíteni egy minden szempontból XXI.sz-i kritériumrendszer mentén, zöld mezős beruházás keretében: innovatív (hőszigetelő és magas stabilizáltságú) betontermékek, a hagyományosnál jóval erősebb nyomószilárdság mellett, mindezt egy megújuló energiával hajtott technológiával, ráadásul annak lehetőségével, hogy a testreszabott technológia lehetőséget adjon ún. brikettek tömeges előállítására, azaz környezetvédelmi szempontból veszélyes anyagok stabilizált formába történő zárására, így lehetőséget adva azok biztonságos tárolására, további feldolgozásuk v. újrahasznosításuk idejéig.

A) 4 fő elemünk:

- 1) technológiára tervezett befoglaló ingatlan felépítése: egyes elemekben teljes mértékben szolgálja tervezett technológia gazdaságossági, hatékonysági szempontjait, a tetőfelülete alkalmas nagy mennyiségű napelemtábla elhelyezésére.
- 2) Innovatív igényekre szabott magas termelékenységű betontechnológia telepítése.

Célok: a gyártani kívánt termékekkel:

- a) legyenek a hagyományos, piaci forgalomban lévő termékekhez képest jóval erősebb és jobb fizikai paraméterekkel jellemezhetőek azáltal, hogy nem „söderből”, hanem lényegesen erősebb, eruptív zúzott andezitből gyártjuk majd termékeinket.
- b) A betontermékekhez adagolható legyen mikrostabilizációs szál, ezzel növelve meg jelentősen a termékek húzószilárdságát.
- c) Tudjunk ún. „szendvicsszerkezetű” betontermékeket gyártani olyan felhasználási területekre, ahol nincsen mód addicionális hőszigetelőrendszereket telepíteni.

- d) A technológiának képesnek kell lennie tetszőleges színű beton előállítására.
 - e) Brikettálási képességek: technológiánk legyen képes veszélyes hulladékokból is zárt briketteket gyártani, így lezárva azokat biztonságosan későbbi hasznosításig vagy újrafeldolgozásig.
 - f) A beruházás többretegű, magas nyomó erejű, betonelempresselő egységet kap, mely kiegészítve az automatikus ún. finger car félkész és késztermék hordozó robotrendszerrel nagyban növeli a beruházás automatizáltsági fokát, megtérülését, hatékonyságát.
- 3) Zöld energiát hasznosítunk nagy volumenben a mindennapi termelés során: napelempresszert telepítünk a technológiai rendszer és az épület villamos felhasználásának csökkentése érdekében
 - 4) Külföldi szakmai kiállításokon és vásárokon veszünk részt, ott népszerűsítjük termékeinket, osztjuk meg elért innovatív eredményeinket ezzel új piacokat, megrendelőket szerezve.

B)

- 1) A vállalkozói tevékenység végzésével összefüggő infrastrukturális és ingatlan beruházás: Brikett és betonüzem építése
- 2) Technológiai fejlesztést eredményező új eszközök beszerzése: Metalika gyártmányú egyedi tervezésű automatizált, komputer vezérelt betontermékgyártó és brikettáló üzem.
- 3) Megújuló energiaforrást hasznosító technológiák alkalmazása, melyek célja a gazdasági-termelési folyamatok és az üzemi/üzleti építmények energiaigényének fedezése megújuló energia előállításával: 300,4kWp-os napelemes rendszer.
- 4) Külpiaci megjelenés: Külföldi kiállításon vagy vásáron való részvétel.



Az aszfaltrácsok alkalmazása a pályaszerkezetben: a Soldugri projekt legutóbbi eredményei

**Xavier
CARBONNEAU**



Senior Technical Advisor
CORE Center by COLAS

Az aszfaltrácsok, különösen az üvegszálból készült rácsok használata meglehetősen gyakori az útépitésben. Ugyanakkor még mindig vita tárgyát képezi, hogy ezek a rendszerek összességében milyen hatással vannak a pályaszerkezet mechanikai viselkedésére. Nincs elfogadott, egyértelmű módszertan ennek megállapítására vonatkozóan. Ennek ellenére e megoldás alkalmazása lehetővé teszi az aszfaltrétegek vastagságának csökkentését a pályaszerkezetben, és ezáltal anyagtakarékoságot biztosít.

A Colas több mint 25 éves tapasztalattal rendelkezik a Colgrill R [www.cerema.fr] alkalmazásával kapcsolatban. A dél-franciaországi Castelnau-dary közelében felújított, RD 6234 jelű út egy szakaszának leromlását több mint 18 éve kísérik figyelemmel, monitoring jelleggel. Összességében elmondható, hogy a kontroll szakaszhoz képest jobb viselkedést figyeltek meg, ami igazolja, hogy megfelelően felügyelt kivitelezés mellett garantált az aszfaltrács hatékony viselkedése a pályaszerkezetben. Az új típusú aszfaltrácsok folyamatos megjelenése a piacon viszont megnehezíti a megfelelő termék kiválasztását. Ezen probléma megoldására indult el 2015-ben a Soldugri nemzeti kutatási projekt Franciaországban. A 2 millió Euró költségű kutatási projekt egy aszfaltrács gyártó (6D solutions), két állami kutatólaboratórium (Gustave Eiffel University és Insa Strasbourg), egy független kontroll laboratórium és a Colas közreműködésében valósult meg. A projekt célja nemcsak az aszfaltrácsok összehasonlítási-minősítési módszertanának kidolgozása, hanem a rétegek közötti tapadásra, illetve a pályaszerkezet mechanikai teljesítményére gyakorolt hatásuk megállapítása is volt.

A projektmunka a teljeskörű laboratóriumi kiértékelésen, a Gustave Eiffel University fáradási körpályáján végzett, egy az egyes léptékű fáradási vizsgálatán, valamint széleskörű modellezési munkákon alapult. Végezetül a

környezetvédelmi szempontokon alapuló életciklus- és kibocsátáselemzések hasznos kiegészítést nyújtottak a megoldás bevezetése előtt álló akadályok elhárításához.

A projekt eredményeként új, speciális vizsgálati eljárások kerültek kidolgozásra az aszfaltrács terítése után, az arra épített aszfaltréteg tömörítése során bekövetkező károsodások szimulálására. Az eredmények jelentős különbségeket mutattak ki az aszfaltrácsok között, és rámutattak a bevonttal készült szálak alkalmazásának jelentőségére. A kezdeti szakítószilárdság önmagában nem jelent garanciát a hosszútávú teljesítményre. Hasonlóképpen, a nagy szakítószilárdság a rácsok nagyobb keresztmetszetéhez vezet, ami hátrányos lehet a rétegtapadás szempontjából.

A valós léptékű, fáradási körpályán végzett vizsgálatok megerősítették az aszfaltrácsok pozitív hatását a pályaszerkezetek mechanikai viselkedésre, a repedésekkel szembeni ellenállására. A kísérlet végén végzett burkolatmarás lehetővé tette a porképződés mértékének mérését is.

A folyamat során tapasztaltak szerint, az üvegszál aszfaltrács jelenléte nem növelte a keletkező por mennyiségét, és nem módosította a mart aszfalt szemmegoszlását sem, így a jövőbeni fenntartási és felújítási folyamatok során alacsonyban tartható az operatív személyzetet érő expozíció. Az ebben a szakaszban keletkezett mart aszfalt újrahasználatosságát is értékelték.

Az üvegszáldarabok mart aszfaltban lévő jelenléte ellenére, a 30% mart aszfalttal előállított aszfaltkeverékek teljesítménye hasonló tulajdonságokat mutatott, mint a referencia aszfaltkeverékeké. Ez a fontos kutatási projekt rávilágított a piacon elérhető különböző aszfaltrácsok közötti különbségekre és arra, hogy nem lehet kizárólag a szakítószilárdság az egyetlen fontos mutatószám ezen különbségek jellemzésére. Sokkal fontosabb az aszfaltrácsok mechanikai sérülésekkel szembeni ellenállóképessége.

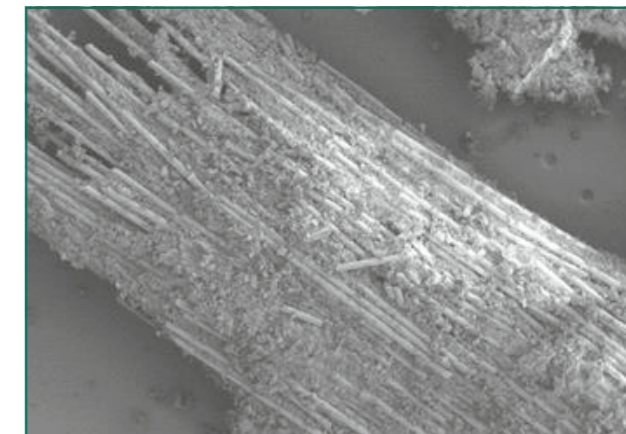
A laboratóriumi fáradási, illetve a valós léptékű, fáradási körpályán végzett vizsgálatok együttesen lehetővé tették a pályaszerkezetméretezés során alkalmazható megerősítési paraméter megállapítását. Ezek a vizsgálati eredmények is megerősítették a Colas által korábban, már 20 évvel ezelőtt felvetett, terepi vizsgálatokkal igazolt hipotéziseket, egyúttal az aszfaltrácsok hatékony újrahasznosíthatóságát is bizonyították. Az üvegszál aszfaltrácsok életciklus-elemzése arra is rávilágított, hogy az aszfaltrács nélküli pályaszerkezetek többletvastagság-igénye kompenzálja az aszfaltrácsok alkalmazásának környezeti költségeit, ami megerősíti az aszfaltrácsok használatának jelentőségét a felújítási munkák során.



A kiválasztott üvegszál aszfaltrácsok alkalmazása tehát megoldást kínált az úthálózat üzemeltetőjének a karbantartási munkák költségeinek és hatékonyságának optimalizálására, ideértve a kopórétegek alatti alkalmazás lehetőségét is.

A legjobb teljesítmény elérése, mint minden munka esetében, természetesen megköveteli a beépítési szabályok betartását és tiszteletben tartását.

Részletesebb információk érhetők el a Soldugri-projektről szóló különböző tudományos publikációkban.



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 Közlekedéscépző 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 Építőgépi 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
Dombóvári út 28.
<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 Útépző és Mélyépző Kft.
H-8000 Székesfehérvár
Szlovák utca 6.
<http://uteppark.hu>

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

HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

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

AUMER Kft.
H-2035 Érd
Bikszádi utca 6.
<http://aumer.hu/>

BHG Bitumen Kft.
H-1117 Budapest
Gábor Dénes utca 2. Infopark D
épület
<http://bhg.huauholding.com>

BME Út és Vasútépzési Tanszék
H-1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3.
<https://epito.bme.hu/ut-es-vasutepzesi-tanszek>

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.

IRONWELL ASPHALT TECHNOLOGIES
H 1065 Budapest
Révay köz 4.
<https://www.ironwell.com.tr>

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

Mélyépző Labor Kft.
H-2142 Nagytarcsa
Csonka János u. 6.
<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 Mészkefeldolgozó Kft.
H-3300 Eger,
Lesrét utca 71.
<https://www.omya.com/>

OTYS Úttechnika Kft.
H-2660 Balassagyarmat
0101/21 hrsz.

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-Waisenhorn-Gasse 18.
https://www.jrs.de/jrs_de/

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

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>

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

TLI Zrt.
H-2030 Érd,
Bikszádi utca 6.
<http://www.tli.hu>

ÚTLABOR Kft.
H- 9151 Abda
Bécsi út 15.

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 Nagykanizsa, 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.***