Az Aszfalt

A Magyar Aszfalttipari Egyesülés
hapa
hivatalos lapja

XXVII. ÉVFOLYAM 2020/2. szám

FORTA Fi szintetikus szálak hatása az aszfaltkeverékre.

Asphalt 100% recyclable

Az aszfalt 100%-ban újrahasznosítható

A kísérletben közreműködők:
Magyar Közút Zrt,
HE-DO Kft.,
Externál Zrt.

Cikkünk a 29. oldalon

2020 december

A JOHN DEERE COMPANY

WIRTGEN GROUP

TELJESKÖRÜEN.

www.wirtgen-group.com/technologies

CLOSE TO OUR CUSTOMERS

ROAD AND MINERAL TECHNOLOGIES. A WIRTGEN GROUP által Önnek kínált vezető technológiák segítségével az útépítés során felmerülő összes feladat optimálisan és gazdaságosan megoldható, elvégezhető: az alapanyagok kitermelése és feldolgozása, az aszfalt keverése, beépítése, tömörítése, majd újra hasznosítása. Bizzon Ön is a WIRTGEN GROUP csapatában és megbízható márkáiban – WIRTGEN, VÖGELE, HAMM, KLEEMANN és BENNINGHOVEN.

WIRTGEN BUDAPEST Kft. · 2363 Felsőpakony, Erdőalja u. 1.
Telefon: +36 29 517300 · E-Mail: wirtgen.budapest@wirtgen-group.com www.wirtgen-group.com

WIRTGEN / VÖGELE / HAMM / KLEEMANN / BENNINGHOVEN

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 szerkesztőségen keresztül ingyenesen

ISSN 1217-7830

TARTALOMJEGYZÉK

Tomacsek József –
Üvegaszfalt kutatási eredményeka Swietelskynél 6

Piotr Jaskula –
Lengyelországi megközelítés a pályaszerkezet tervezésben 9

Dr. Törőcsik Frigyes –
Eldőlt a verseny a beton és az aszfaltburkolat között? 16

Jencs Árpád –
Betonútépítő aszfaltos fejlesztései 1973–1995 között 19

Wirtgen Group: –
Recycling teljes mélységben 27

Skovrankó Ernő – Varga Zoltán –
3D aszfalterősítési technológia alkalmazása a 3-as főúton 29

Dr. Almássy Kornél – Dr. Geiger András –
Gumibitumen alkalmazások a nagyvilágban
A MOL gumibitumen helyzete nemzetközi összehasonlításban 33

Dr. Primusz Péter - Dr. Tóth Csaba –
Aszfaltkeverékek relaxációs modulusának meghatározása 39

Markó Gergely –
FWD mérések kiértékelését támogató szoftver fejlesztése 46

Dr. Géber Róbert, Kocserha István, Simon Andrea, Udvardi Bella –
Porózus kőanyagok anyagszerkezeti vizsgálata 51

Füleki Péter –
Gondolatok a hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezés
aktuális helyzetéről és javaslatok a lehetséges jövőképhez 59

Füleki Péter – Szvoboda Krisztián –
Aszfaltkeverékek hidegviselkedésének adatgyűjtés-jellegű vizsgálata 66

Kedves Kollégák,

a vírus bizony alaposan felforgatja az életünket. A Fiatal Mérnökök Fóruma után a februári konferenciánk elmaradását is kénytelenek voltunk bejelenteni. Annyit ígérhetek, hogy a 2021 októberi és a 2022 februári rendezvényeinken kárpótolni fogjuk a résztvevőket azok színvonalával, és hasznosságával.

Ebben a lapunkban négy, az előző lapunkból helyhiány miatt kiszorult cikkel kérünk elnézést a szerzőktől. Ugyanakkor néhány múltba tekintő cikk mellett a jövő aszfaltjaival is foglalkozunk. Külön köszönet illeti a Budapesti Műszaki Egyetem, a Széchenyi István Egyetem, és a Miskolci Műszaki Egyetem oktatóit, hogy a tanulmányaikkal emelték a lapunk szakmai színvonalát.

Mivel a konferenciánk elmarad, engedjék meg, hogy ezúton köszöntsem három új belépő tagunkat a Csillagszer Kft.-t, a Huntraco Kft.-t és az STA Aszfalt-tech Kft.-t. Remélem, mindannyiunk számára hasznos lesz a tagságuk.

ÚJGENERÁCIÓS ASZFALT MOL GUMIBITUMENBŐL

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

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

Tartson Ön is velünk a jövő útján!

ÖRNYEZETBARÁT TER

Környezetért

MAGYAR INNOVÁCIÓS NAGYDÍJ

mol.hu

Tisztelt HAPA tagok, és Partnereink!

Tájékoztatom Önöket, hogy az előzetesen 2021. február 16-17-re meghirdetett, a Magyar Aszfaltipari Egyesülés szervezésében tervezett XXII. HAPA Nemzetközi Konferenciát a járványügyi helyzetre és a várhatóan életbe lépő, és sokáig tartó megszorító intézkedésekre való tekintettel a jövő év elején nem tudjuk megtartani.

Bízunk abban, hogy konferenciát, a reményeink szerint minden bizonnyal elmúló járvány után, 2022 tavaszán meg tudjuk majd szervezni. Részvételükre akkor is feltétlenül számítunk!

Ígérjük, hogy a konferenciánk színvonala, érdekessége, hasznossága a szokásos lesz, ha lehetséges, még izgalmasabb előadásokkal, az eddigiekhez hasonlóan kiváló magyar és külföldi előadókkal

Bízva a személyes találkozásban kérjük megértésüket és támogatásukat.

Budapest, 2020. December.

Üdvözlettel

Veress Tibor
igazgató
Magyar Aszfaltipari Egyesülés

Üvegaszfalt kutatási eredmények a Swietelskynél

Tomacsek József

Főtechnológus
Swietelsky Magyarország Kft.

Előzmény

Az Swietelsky Magyarország Kft. a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból a Vállalatok K+F tevékenységének támogatása (KFI_16) pályázati program keretében 115 millió forint vissza nem térítendő támogatást nyert „Üveghulladék aszfaltkeverékben történő felhasználását célzó kutatás-fejlesztési tevékenység támogatása a Swietelsky Magyarország Kft-nél” címen.

Rendelkezésre álló és felhasználható üvegtörmelékek

Az üvegiparban vissza nem forgatható szemcsés üvegtörmelék jelenleg hulladéklerakókba kerül. Egy útpályaszerkezet töltéstestjében is megfelelően elhelyezhető lenne ez az anyag, de aszfaltburkolati alapanyagként jóval magasabb értéken hasznosítható újra.

Az üvegtörmelék feldolgozóknak a nagyobb üvegszemcsék az értékesek és a kisebb kb. -8 mm alattiak feleslegesek. Aszfaltgyártás szempontjából pont a 0/4 esetleg 0/8 mm-es frakciók a leghasználhatóbbak, mivel ekkor az üvegszemcsék felülete kevésbé sima és a szemcsék lemezessége sem jelentős. Sajnos a kisebb frakciójú üvegszemcse halmazok gyártása (kb. 0/4-es frakció), amely újratörés révén valósítható meg, jelentősen drágítja az alapanyagot.

Síküvegből, öblösüvegből, szélvédőből, kopolit és drótos üvegből származó üvegcserép halmazokat szereztünk be.

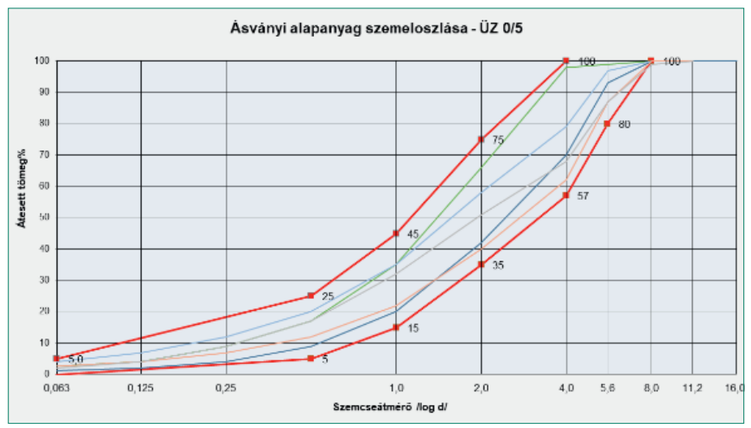
Jelenleg a hazai útépítésre vonatkozó előírások nem teszik lehetővé az üveg felhasználását (meg sem említik az üveget, mint használható alapanyagot).

Üvegtörmelék vizsgálatok

14 különféle üvegminta került a laboratóriumba, amiken szemeloszlás, sűrűség, lemezesség metilénkék és Los Angeles vizsgálatokat végeztünk el.

A nagyobb szemcsék lemezességével összefügg, hogy a Los Angeles aprózódásuk is jelentősen meghaladja a kőanyagokét, így beépítéskor a henger alatt széttörhetnek. Az üvegtörmelékek 2,5 Mg/m^3-es sűrűsége alacsonyabb a kőanyagokénál. Az üvegtöretek szemmegoszlása általában folytonos, ami kiváló az aszfaltok előállításához. Finom szemcse (0,063 mm alatt) a kőanyagokhoz képest sokkal kevesebb keletkezik töréskor, így jelentős kiporzással nem kell számolni.

A legjobb aszfaltok a 0/5 üvegfrakciókból gyárthatók:



Tapadásjavítás

A szakirodalom nagy problémaként kezelte az üveg és a bitumen közti tapadást, így a kutatás tervezése során erre különös figyelmet fordítottunk.

6 különféle bitumennel, tapadásjavító szer nélkül, illetve 5 féle tapadásjavító szerrel 47 db tapadási vizsgálatot végeztünk a rendelkezésre álló üvegtörmelék frakciókon. A vizsgálataink során az MSZ EN 12697-11 szabvány szerinti palackforgatásos módszert alkalmaztuk, 6 illetve 24 órás leolvasással.

A tapadásvizsgálatok során kiderült, hogy az üvegszemcsék könnyen összetapadnak a sima felületükkel egymáshoz, amiért a kőanyagokra használatos vizsgálati módszeren kisebb módosításokat kellett tennünk. A vizsgálatok során kiderült, hogy tapadásjavító szer nélkül is elfogadható az üvegszemcsék és a bitumen közti tapadás. Modifikált vagy gumibitumen esetében jobb a tapadás, mint normál 50/70-es útépítési bitumennel. A kőanyagokhoz használatos tapadásjavító szerek (Stardope és Iterlene) nem javították számottevően a tapadást, így további alkalmazásuktól eltekintettünk. A mészkőliszt és a mészhidrát alkalmazása jelentősen javította a bitumen tapadását az üvegszemcsék felületén.

Az irodalomkutatások alapján kimutatott tapadási problémákat vizsgálataink nem igazolták, így utólag kicsit túlzottnak mondható a vizsgálatokra fordított energia. Ezzel együtt meg kell jegyezni, hogy a korábbi kutatási eredményekkel alátámasztott 8 mm alatti szemcsékkel dolgoztunk főként, melyek esetében több a tört felület, így jobban biztosított a tapadás is.

Aszfalt vizsgálatok

Kezdetben 32 db laboratóriumi keveréket állítottunk elő különféle aszfalttípusokra, főként 50% feletti üvegtörmelék adagolással. A labormintákon sűrűség, hézag, Marshall stabilitás és folyás, hasító-húzó szilárdság – vízérzékenység, fajlagos nyommélység, illetve benyomódás vizsgálatokat végeztünk. Az aszfaltminták kötőanyagának leoldása után a keverék szemmegoszlását a pontosabb keveréktervezés érdekében a legtöbb esetben vissza is ellenőriztük.

meghatározni azt az üvegtörmelék adagolást, amivel lehetséges olyan keverék előállítása amely teljesíti a fokozott igénybevételi kategóriájú keverékek előírt paramétereit.

Ezt a teljesítőképességet a szakirodalom által javasolt alacsonyabb üvegtörmelék adagolású (15 és 30%) AC 11 kopó keverékek esetében szerettük volna igazolni, melyek közül a 7% alatti fajlagos nyommélység realitása bizonyult a legkritikusabbnak. A feladatba bevonásra került Rosta Szabolcs, aki diplomamunkát készített a feladatrészből (lásd.: Az Aszfalt újság 2019 december) melyben aszfaltkeverék öregítésének vizsgálata is készült az időjárás hosszú-távú hatásának modellezésére.

Aszfaltmechanikai eredmények

Az 50-nél is többféle aszfaltkeverékből kiválasztásra került 8 típus, amikre a korábbiaknál még szélesebb körű vizsgálatok készültek (repedési hőmérséklet, fáradás és merevség is):

Aszf.	üveg	Bitumen	Mkl+Mh	MS kN	ITCY$_{MPa}$	ITS$_{kPa}$	ITSR %	ε % $_{fajl.ny.}$	Rh °C	Rh $_{húrózó}$ N/mm2	ε10^{6}µs
AC 11	0%	5,7%	9%	10...11	3 600	2 199	101	4,8	-27	0,712	149
AC 11	15%	5,2%	8,5%	9…15	4 000	2 146	89	25,0			
AC 11	15%$_{mh}$	5,3%	4,7+3,8%	12..15	4 000	2 222	92	10,8			
AC 11	30%	5,0%	8,1%	9…10	5 700	2 887	90	20,7	-23	4,203	104
AC 11	30%$_{mh}$	5,1%	4,3+3,8%	11…13	4 500	2 428	93	11,5	-15*	1,793	101
AC 11	33%	5,0%	7,8%	8,1	4 558	2 410	96	24,8	-22	3,180	121
AC 11	46%	5,2%	8%	7,6	5 418	2 428	98	17,6	-22	2,999	132
AC 8	89%	6,2%	8%	6,0	3 691	1 762	99		-23	3,515	

Célunk volt bemutatni, hogy különféle aszfaltkeverék típusok esetében mi a maximális üvegtörmelék adagolás, amely mellett még beépíthető az aszfaltkeverék fokozott forgalmi igénybevételű útszakaszokra, illetve kerestük azokat a teljesítmény-jellemzőket, amikben az üvegaszfaltok előnyösebbek.

Néhány aszfaltkeverék típussal kevesebbet foglalkoztunk a tervezettnél (pl. öntött aszfalt vagy AC 22 kötő aszfaltbeton), mivel már az alapvizsgálatok is érzékeltették, hogy gazdaságtalan lenne vagy túlzott kockázatot jelentene az üveg alkalmazása a szerkezetre, ezért ezekkel nem folytattuk tovább a vizsgálatokat.

A kompaktaszfalt technológiával készített BBTM keverék esetében sikerült csak megfelelő nyomvályú eredményt elérni, az aszfaltbetonok fajlagos nyommélységei viszont rendre 15–25% körül adódtak.

Mivel a tervezett 50%-os adagolással nem sikerült „F”-es aszfaltot terveznünk, így mindenképp szerettünk volna

Az eredményekből látszik, hogy a referencia aszfalthoz képest az üvegaszfaltok:

- bitumenigénye jelentősen alacsonyabb (hozzávetőleg 0,5%-al)
- Marshall stabilitása hasonló vagy kissé alacsonyabb
- merevsége magasabb
- vízérzékenysége kissé rosszabb, de az előírásokat magasan teljesítik
- fajlagos nyomvályú ellenállása jóval rosszabb
- fáradása minimálisan marad el
- öregedését nem befolyásolja hátrányosan az üvegcserép adagolása
- repedési hőmérséklete kissé magasabb

A mészhidrát adagolás egyértelmű előnye az öregedési hajlam csökkentése valamint a nyomvályú ellenálláson is javít (bár 7% alatti értéket nem sikerült elérni), viszont a hidegviselkedési vizsgálatok a repedések kialakulásának magasabb kockázatára utalnak.

Meg kell jegyezni, hogy az üvegaszfaltok tervezése jóval összetetteb feladat a konvencionális aszfaltokhoz képest, így sokkal könnyebb „rossz” aszfaltot tervezni belőlük.

Próbaépítések

Az üvegaszfalt 2 beépítési helyszínén végzett 3 összetételű beépítése igazolta, hogy megfelelő odafigyeléssel és keveréktervezéssel a rendelkezésre álló technikai eszközök alkalmasak megfelelő burkolati rétegek készítéséhez. Tömörítés során számítani kell rá, hogy a keverék normál hőmérsékleten jobban kitér a tömörítő munka elől.

Pálya utcai tesztszakasz:

Üveg=35%	B=5,35%	MH=5,3%
MS=7,7 kN	MF=2,3mm	MM=3,2 kN/mm
ITSR=96% (2 180/2 098 kPa)		ε=18,1%
Fáradás=132mstrain		ITCY=5 582 MPa
Makroérdesség=0,45mm		
SRT_d=57	SRT_w=42	

Gazdasági és környezetvédelmi előnyök

Az alacsony aszfalt testsűrűség azonos vastagságú aszfalt beépítése esetén kevesebb (tömeget) azaz szállítási költséget, üzemanyag felhasználást és kibocsátást jelent. (7–10% megtakarítás).

Az üveg vízfelvétele szinte nulla, így aszfaltgyártáskor kevesebb energia kell a szárításhoz.

Az üvegcserép tartalmú aszfaltkeverékek bitumenfelvétele hozzávetőleg 10%-al alacsonyabb a tisztán kőanyagból készült aszfaltokhoz képest.

Természetesen a másodlagos nyersanyagként felhasznált üvegtörmelék nem csak a hulladéklerakók terhelését csökkenti, de használatával kevesebb friss kőanyag kerül az aszfaltkeverékbe.

Alkalmazási javaslatok

Amennyiben a szabályozási hátteret sikerül megteremteni, akkor országszerte több olyan dizájnosan csillogó burkolat épülhet, mint a Swietelsky székház melletti Pálya utcában épült próbaszakasz.

Alacsony forgalmú aszfaltok burkolata esetében akár a teljes kőváz is cserélhető üvegre, pl. járda esetében. A kis szemcseméretű (maximum 8mm) aszfalt tetszetős burkolata lehet egy kerékpárútnak vagy gyalogos járdának. Transzparens (színtelen) kötőanyaggal és pigmentekkel gyártva különféle színű burkolat állítható elő használatával, aminek nagy előnye, hogy a felület kopása után a kőanyag színe nem befolyásolja a burkolat textúráját.

Gépjárművek közlekedésére alkalmas aszfaltok összetevőjeként – akár 50% üvegadagolással – kisforgalmú városi utak és összekötő közutak burkolata építhető. Az útfelület érdessége (csúszósurlódása) és optikai vezetőképessége azonos vagy jobb a szokványos aszfaltokhoz képest.

Lengyelországi megközelítés a pályaszerkezet tervezésben

Piotr Jaskula

Professzor
Gdański Műszaki Egyetem,
Építőmérnöki Kar,
Közúti Műszaki Tanszék,
Lengyelország

Rugalmas és félmerev pályaszerkezetek Új Lengyel Katalógusa

Józef Judycki, Piotr Jaskuła, Marek Pszczoła, Dawid Ryś, Mariusz Jaczewski, Jacek Alenowicz, Bohdan Dołżycki, Marcin Stienss

Bevezető

A cikk a következő, a tipikus rugalmas és félmerev burkolatokra vonatkozó új lengyel katalógus kidolgozásához fontos témákat tárgyalja:

- a tipikus rugalmas és félmerev burkolatok katalógusa új kiadásának elkészítésének indokai,
- az új kiadványban bemutatott elemek,
- a burkolatokkal kapcsolatos terminológiák egységesítése,
- a tervezett forgalommal kapcsolatos számítások és az új ekvivalens tengelyterhelési tényezők,
- a katalógusban szereplő új anyagok és technológiák, alcsoportok osztályozása a talaj anyagának és a csatornázási feltételeknek megfelelően,
- az alsó rétegek és a továbbfejlesztett alsóréteg, a kötőréteg, és kopórétegek tervezése .

1. Bemutatkozás

A „Tipikus rugalmas és félmerev útburkolatok katalógusa” az egyik fő tervezési és építési útmutatás, amelyet a közúti mérnökök használnak Lengyelországban. A katalógus előző kiadása 1997-ben jelent meg. Azóta jelentős technológiai fejlődés figyelhető meg az útépítés területén. Ehhez új szabványokat és műszaki követelményeket vezettek be, amelyek összhangban állnak az európai szabványok követelményeivel. Az útépítési anyagokkal szemben támasztott követelmények szintén megváltoztak. Új anyagokat engedélyeztek a burkolatok készítésében. A forgalom szintje jelenleg sokkal magasabb, mint az 1990-es évek közepén, és a bruttó tömeg és a tengelyterhelés szintén jelentősen megnőtt. A járművek méretét és súlyát most az EU irányelvvel összehangolt új rendeletek korlátozzák. A bevezetett változások magukban foglalják a magasabb megengedett terheléseket is, amelyeket a burkolaton egy tengely és tengelycsoport továbbít. A mozgásban lévő mérési sémát az úthálózaton hajtották végre, és a mérési helyek száma továbbra is növekszik. Ezt a burkolattervezési módszerek fejlesztése, valamint a burkolatszerkezetek és az útépítési anyagok tesztelése kísérte. Nagyobb figyelmet szentelnek a fenntartható fejlődésnek, a természetes környezet védelmének, az energiafogyasztás korlátozásának és az anyagok újrahasznosításának.

Mindezek a változások és fejlesztések szükségessé tették a katalógus új kiadásának elkészítését. Ezért a Gdanski Műszaki Egyetem Útépítés Tanszékének csapatát a lengyel autópálya-ügynökség – a GDDKiA alkalmazta – a katalógus új elkészítéséhez. Néhány éves kutatás után a katalógus 2013. márciusában készült el. A javasolt dokumentumot sok lengyel szakértő áttekintette, és a Gdański Műszaki Egyetem és a GDDKiA weboldalain közzétette. Az Infrastruktúra- és Regionális Fejlesztési Minisztérium és a GDDKiA azon dolgoztak, hogy a katalógusnak jogilag kötelező érvényű dokumentumot kapjanak. A 2014-es katalógust a GDDKiA főigazgatójának 31. végzése [18], 2015-ben pedig az Infrastruktúra és Regionális Fejlesztési Minisztérium rendeletének [19] felülvizsgálata vezette be. Ez a cikk az új katalógus vázlatát mutatja be.

2. Mi az új a katalógus 2014. évi változatában?

Számos különbség van a katalógus új kiadása – amelyet a továbbiakban röviden az új kiadásnak hívunk–, és az előző 1997. számú kiadás között. Felhívjuk a figyelmet a következő fő változásokra:

a. A rugalmas és félig merev burkolatokra vonatkozó kifejezések módosított és pontosabb meghatározása.

b. A burkolatok 30 éves tervezési élettartama elfogadott autópályák és főutak számára. Más utak esetében a burkolatok 20 éves tervezési élettartama változatlan maradt. A tervezett forgalom pontosabb új számítási módszere és egy új forgalmi osztály bevezetése – a KR7 a jelenlegi korlátozásoknál sokkal nehezebb tervezési forgalomhoz. Ezeket a változásokat a közúti forgalom növekedése okozta Lengyelországban.

c. A talaj teherbíró képességének osztályozása és az E2 rugalmassági modulus némi kisebb változását hozzáadták az alsó osztályozáshoz. Az új kiadás megköveteli a tervezési feltételezések ellenőrzését a talaj teherbíró képességének ellenőrzésével az építési szakaszban, azaz a talaj felső rétegének eltávolítása után – bevágásos részeknél vagy a töltések befejezésekor – a töltéses szakaszoknál.

d. Három teherbírási osztályt feltételeztek az alsó burkolatrétegek tetején, az alappálya alatt. Az osztály a kiszámított forgalmi osztályhoz viszonyítva kerül meghatározásra. Az ágyazati és a vízelvezető rétegek használatára vonatkozó szabályok már szabályozva vannak.

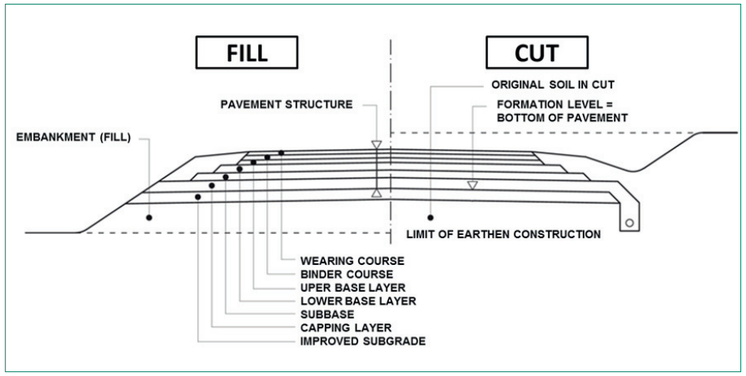
e. Különböző tervezési és kivitelezési lehetőségeket írnak le az alsó burkolat rétegeire és a továbbfejlesztett alapra.

f. Bevezették az új anyagokat és technológiákat. Ide tartoznak: extra vékony rétegű aszfalt, nyított felületű porózus aszfalt, újrahasznosított és más, nem természetes, ember által készített anyagok, valamint hidraulikus kötőanyagokkal megkötött anyagok. Az anyagokkal szemben új követelmények merülnek fel, amelyeket az európai szabványoknak megfelelően fogalmaztak meg.

g. Az új 2014-es katalógusban meghatározott tipikus burkolatszerkezeteket a mechanisztikai-empirikus módszer alkalmazásával tervezték, beleértve az új fáradási kritériumokat. Az eredményeket összehasonlítottuk a hasonló járműviszonyú országokban alkalmazott tipikus járdaszerkezetekkel. A Lengyelországban az évek során szerzett tapasztalatokat szintén figyelembe vettük.

3. A burkolat szerkezetével kapcsolatos új sematikus diagram és terminológiák

A katalógus új kiadása során végzett munka során nagy kihívást jelentettek a különböző lengyel dokumentumok burkolatokkal kapcsolatos szakkifejezések súlyos eltérései. Ez a helyzet problémákat okozott a projektek tervezési, kivitelezési és számlázási szakaszában. A terminológiai vizsgálatok az eddig használt terminológiában némi változást eredményeztek. A végeredményt az 1. ábra sematikus ábrája és a 2. ábra táblázata mutatja be. Az új terminológiát a katalógus tisztázza [11]. A burkolat szerkezete két burkolati réteg csomagra oszlik – felső és alsó rétegekre. A továbbfejlesztett aljzat a földmunka része. Ezenkívül az alapréteg fel van osztva felső és alsó rétegre.



1. ábra: A Burkolat szerkezetének vázlatos rajzai

Pályaszerkezet	Felső burkolati rétegek	Kopó rétegek	
		Kötőrétegek	
		Alapok	Felső alapréteg
			Alsó alapréteg
	Alsó burkolati rétegek	Útalap	
		Ágyazat	
Altalaj	Javított (stabilizált) aljzat		
	Eredeti talaj bevágásban vagy töltésen, a G1-G4 teherbírási osztály kitöltésével		

2. ábra: A hajlékony és félmerev burkolatszerkezetek és a továbbfejlesztett aljzat vázlatos rajza és fogalmai

4. Forgalmi terhelés kiszámítása és tervezett forgalmi osztályozás

A Katalógus új számában hét forgalmi osztály létezik, amelyek alkalmazhatók az útburkolat kialakításakor (KR1-től – a legkönnyebbtől a KR7-ig – legnehezebbig). Az osztályt a tervezett forgalom alapján választják ki. A tervezett forgalmi mennyiséget az egyenértékű egytengelyes terhelések (ESAL) kumulatív számaként, forgalmi sávonként 100 KN-nek adják meg a teljes élettartam alatt. A tervezett forgalmat a következő egyenlettel számítják:

$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot \left(N_C \cdot r_C + N_{C+P} \cdot r_{C+P} + N_A \cdot r_A\right) \quad (1)$$

ahol:

N100 – a tervezett forgalom az egyenértékű standard tengelyek összesített száma, forgalmi sávonként 100 kN a tervezett élettartam alatt,

NC, NC + P, NA – pótkocsik nélküli tehergépjárművek (C), pótkocsikkal vagy félpótkocsikkal (C + P) és távolsági autóbuszokkal (A) rendelkező tehergépjárművek összesített száma a tervezett élettartam alatt,

rC, rC + P, rA – terhelés-ekvivalencia-tényezők (LEF) a pótkocsik nélküli tehergépjárművek (C), a pótkocsikkal (C + P) és a távolsági autóbuszok (A) számának 100 kN ESAL-ra történő átszámítására,

f1 – a tervezett sáv terheléseloszlási tényezője, f2 – sávszélesség-tényező, f3 – hosszirányú gradiens tényező.

A Katalógus új kiadásában az elérhető terhelés ekvivalencia tényezőket az rC, rC + P, rA meghatározták a rendelkezésre álló mozgás-mérési adatok alapján. A mozgásban mérés (WIM) folyamatos folyamat, amely teljes adatokat szolgáltat a nagy forgalomról, ideértve a járműtípus azonosítását, a tengelyterheléseket, a tengelykonfigurációt, a jármű méreteit és sebességét. A burkolat terhelésének vizsgálatát több mint 4,2 millió nehézgép súlyának mérésével kapott mérési adatok felhasználásával végezték. A forgalom elemzése magában foglalta a tengelyterhelés és a bruttó tömeg eloszlásának meghatározását, a járműtípus szerinti megoszlást, az éves, heti és napi forgalmi terhelés eloszlást, valamint a túlterhelt járművek százalékos arányát. A kutatás legfontosabb eleme a járműveknek a burkolatra gyakorolt hatás súlyosságának értékelése volt, amelyet a terhelés ekvivalencia tényezői képviselnek. Értékeiket minden egyes nyilvántartott jármű esetében a következő módszerekkel számolták ki: AASHTO [1], negyedik teljesítménytörvény, francia módszer [2] és a Gdański Műszaki Egyetemen kifejlesztett módszer [12]. A járműnek a burkolat szerkezetére gyakorolt hatásának súlyosságát meghatározó, a módszernek megfelelő paramétereket vették figyelembe, ideértve a következőket: tengelytávolság (releváns a tandem- és tridem tengelyekre), a burkolat típusa (hajlékony vagy félmerev) és a burkolat vastagsága, valamint végül a gumiabroncs-burkolat érintkezési feszültségei. A jármű-osztályok terhelés-ekvivalencia-tényezőinek végső értékeit az egyes járművek terhelés-ekvivalencia-tényezőinek statikus elemzésével határoztuk meg, figyelembe véve a tömeg és a tengelyterhelés variációit az út legnagyobb törvényi terhelésétől és fontossági osztályától függően. Bizonyos biztonsági sávot adtak hozzá, figyelembe véve a különböző utakon alkalmazott különböző terhelési paramétereket, az esetleges jármű túlterhelést, a járművek bruttó tömegének és tengelyterhelésének jövőbeli növekedését, valamint a dinamikus hatásokat.Az 1. táblázat összehasonlítja a katalógus 2014-es és 1997-es számaiban megadott terhelési egyenértékűségi tényezőket. Ezen tényezők kapott értékeinek jelentős eltérései megerősítették az elvégzett ellenőrzés és felülvizsgálat szükségességét és fontosságát. A nagy forgalmú elemzések részletes leírását és a konverziós tényezők meghatározásának módszereit Judycki és mtsai. [13], valamint Ryś, Judycki és Jaskuła cikke [15].

Jármű osztályok	2014-es Katalógus				1997-es Katalógus
	Úttípus és az egytengelyes terhelés törvényi korlátja				
	Autópályák és autóutak	Országos főutak	Egyéb utak		
	(115 kN)	(115 kN)	(115 kN)	(100kN)	
TGK pótkocsi nélkül – **C type**	0.50	0.50	0.45	0.45	0.109
TGK pótkocsival – **C+P type**	1.95	1.80	1.70	1.60	1.245 1.950
Buszok – **A type**	1.25	1.20	1.15	1.05	0.594

1. táblázat: A hajlékony és félmerev burkolatok katalógusának 2014. és 1997. számában megadott terhelési egyenértékűségi tényezők összehasonlítása

A katalógus új kiadása olyan tényezőket vezet be, amelyek figyelembe veszik az útgeometria hatását a tervezett forgalomra, nevezetesen az f2 sávszélesség-tényezőt és az f3 hosszanti gradiens-tényezőt. A forgalmi sáv szélessége befolyásolja a kerék keresztirányú terheléseloszlását. A keskenyebb forgalmi sávokon nagyobb terhelések koncentrációja figyelhető meg, növelve a maradandó deformációk és a fáradtsági repedések kialakulásának sebességét. A nagyobb hosszanti meredekség növeli a burkolat szerkezetében kiváltott nyírófeszültségeket, és a járművek sebességének csökkenését eredményezi, ami növeli a burkolatra gyakorolt hatásuk súlyosságát.

5. Lengyelországban nemrégiben bevezetett új útépítési anyagok és technológiák

Az utóbbi években az útépítésben technológiai forradalom tapasztalható, amely új anyagok és módszerek bevezetését vonta maga után. Ez a forradalom az anyag- és gépgyártás terén elért haladásnak köszönhető. Az anyagokat és az építési módszereket érintő változásokat [11] elsősorban a technológiai fejlődés, valamint az UE szabványok lengyelországi végrehajtása okozta. A katalógus 1997-es kiadásával [14] kapcsolatos fő változások a következők:

- Új aszfaltkeverékek, amelyek a pálya építéséhez engedélyezettek: zúzalékos masztix aszfalt (SMA) és porózus aszfalt (PA) egy vagy két rétegben.
- Részben zúzott anyagok szélesebb körű felhasználása kötetlen alapkeverékek előállításához. Eddig bevett gyakorlat volt, hogy csak teljesen zúzott anyagot adtak meg az útépítéshez.
- Hidegkeverék-újrahasznosítás alkalmazása alapkeverékek (ásvány-cement-emulzió keverék és habosított bitumennel kezelt ásványi keverék) előállításához KR1-KR4 forgalmi osztályú burkolatokhoz. Ezeket az anyagokat a Katalógus 1997-es kiadása [14] nem határozta meg új építésre alkalmasnak.
- A hidraulikusan kötött anyagokhoz szükséges szilárdsági osztályt az alap- és alsó rétegeknél az érintett út forgalmi osztálya határozza meg. Korábban az erőigény minden forgalmi osztályban azonos volt, de a pályafunkciótól (bázis / albázis) függően.
- Hidraulikus kötőanyagok használata az összesített és talajrétegek kezelésére a korábban használt kötőanyagok mellett, amelyek a következők voltak: cement, salak és pernye. A hidraulikus kötőanyagok egyesítik a cement, a pernye és a mész kívánatos tulajdonságait, és jelenleg a leggyakrabban használt talaj- és kavics kötőanyagok közé tartoznak. A stabilizált anyag nedvességének megkötésével és csökkentésével ezek az anyagok viszonylag rövid idő alatt nagyon jó eredményeket hoznak.
- Helyi keverés ajánlott stabilizációs kezelésként hidraulikusan kötött alsó burkolatokhoz és javított aljzathoz. Ez a modern mobil csigakeverő (folyamatos) gépek nagy népszerűségének köszönhető, amelyek biztosítják a stabilizált anyag szükséges minőségi paramétereit.

A burkolat szerkezetének fáradási ellenállásával kapcsolatos követelményeket a legtöbb anyagra a katalógus [11] tartalmazza. Egyéb követelmények esetén az olvasó a vonatkozó lengyel előírásokra hivatkozik, amelyek részletes specifikációkat tartalmaznak az összes útépítési anyaghoz.

Egy másik új elem, amely mind az építési mód, mind az anyagok alkalmazása szempontjából fontos, az egyedi burkolattervezés, amelyet a [11] rendelkezései megengednek. Ez a hozzáállás lehetővé teszi olyan anyagok használatát, amelyek vagy ismeretlenek voltak, vagy a fejlesztés fázisában voltak a Katalógus kiadása idején, ezáltal megnyitva az ajtót az újonnan kifejlesztett technológiák szélesebb körű felhasználása előtt.

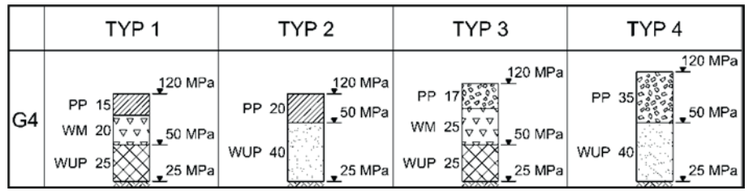
6. Az altalaj- és talajvízviszonyainak értékelése

A Katalógus új kiadása [11] számos változtatást vezetett be az altalaj- és talajvíz-viszonyainak értékelési eljárásában. Ezt elsősorban az aljzat tesztelési és erősítési módszereinek fejlesztése okozta. A főbb változások a következők:

- A földszerkezet alatti aljzat (azaz töltések) egyértelműen megkülönböztethető a burkolat építmény alatti aljzattól
- Új mélységek a burkolatok alatti aljzatviszonyok elemzéséhez: 2 m a talajvíz állapotának ellenőrzéséhez és 1 m a talajviszonyok ellenőrzéséhez, a burkolat szerkezetének alsó síkjától mérve.

Bearing capacity class Gi	CBR after four days of soaking the samples	Secondary deformation modulus E_2 [MPa]
G1	CBR ≥ 10	$E_2 \geq 80$
G2	5 ≤ CBR < 10	$50 \leq E_2 < 80$
G3	3 ≤ CBR < 5	$35 \leq E_2 < 50$
G4	2 ≤ CBR < 3	$25 \leq E_2 < 35$

2. táblázat: Útburkolati aljzatok teherbírási besorolása



3. ábra: Néhány tipikus elrendezés (1–4 típus) KR5-7 és G4 forgalmi kategóriákhoz aljzat teherbírási osztályához (PP – altalaj, WM – fedőréteg, WUP – továbbfejlesztett aljzatréteg)

– Az E2 másodlagos alakváltozási modulus (lásd az alábbi 2. táblázatot) hozzáadva a korábban alkalmazott teherbírás-értékelési kritériumokhoz (CBR, fagy érzékenység és vízelvezetési viszonyok)
– A tervezési bemeneti feltételezések kötelező ellenőrzése az építés folyamata során az aljzatfelületen mért E2 modul és a tervezéshez bevitt érték összehasonlításával. Az ilyen ellenőrzés során a feltételezettnél alacsonyabb E2-érték megköveteli az alsó burkolat rétegek újratervezését.

7. Az útburkolat alsó szakaszainak és a javított aljzatréteg kialakítása

A katalógus új kiadásával [11] kapcsolatos munka mélyrehatóan áttekintette azokat a módszereket, amelyeket az alacsonyabb burkolatok kialakításához és a burkolat alatti aljzat talajának stabilizálásához használtak, amelyeket a nagyobb európai országokban, így Németországban is alkalmaznak [17], Nagy-Britannia [5], Franciaország [4, 16] és Spanyolország [3]. Ezeket a módszereket ezután összehasonlították a Lengyelországban alkalmazott talajstabilizációs módszerekkel. Az 1997-es katalógusszám nagyon korlátozott választási lehetőséget adott, amely általában az aljzat cementtel történő kezelése vagy a talaj pótlása között állt. A más országokban alkalmazott módszerek áttekintése során megállapítást nyert, hogy a mérnökök különböző stabilizációs rendszereket használhatnak, amelyek megfelelnek a forgalom terhelésének és az aljzat tetején a kívánt modulusértéknek. Ez lehetővé teszi a helyi talaj- és vízviszonyoknak leginkább megfelelő stabilizációs technika kiválasztását. A hiányosságra példa a Katalógus előző számában (1997) ugyanazon stabilizációs mélységet és szilárdságot írta elő a kezelés utáni másodlagos deformációs modulus két különböző értékére (100 MPa és 120 MPa), és a G1 teherbírási osztályt ekvivalensként kezelte ezek teljesítésével követelményeknek. Ennek megfelelően nem volt szükség kezelésre olyan aljzatoknál, amelyek olyan anyagokból készültek, mint a finom homok. Az új katalógusban ezeket a rendelkezéseket ellenőrizték, és a fent említett egyszerűsítéseket és hiányosságokat megszüntették. A javított alapréteg tetején mért E2 minimális értékét E2 ≥ 50 MPa értékként vezettük be. Az alsó burkolólapok tetején megkövetelt E2 értéke: altalaj és / vagy fedőréteg az út forgalmi osztályától függ. Ezek a következők: E2 ≥ 80 MPa a KR1-2 forgalmi osztályokhoz, E2 ≥ 100 MPa a KR3-4 forgalmi osztályokhoz és az E2 ≥ 120 MPa a KR5-7 forgalmi osztályokhoz.

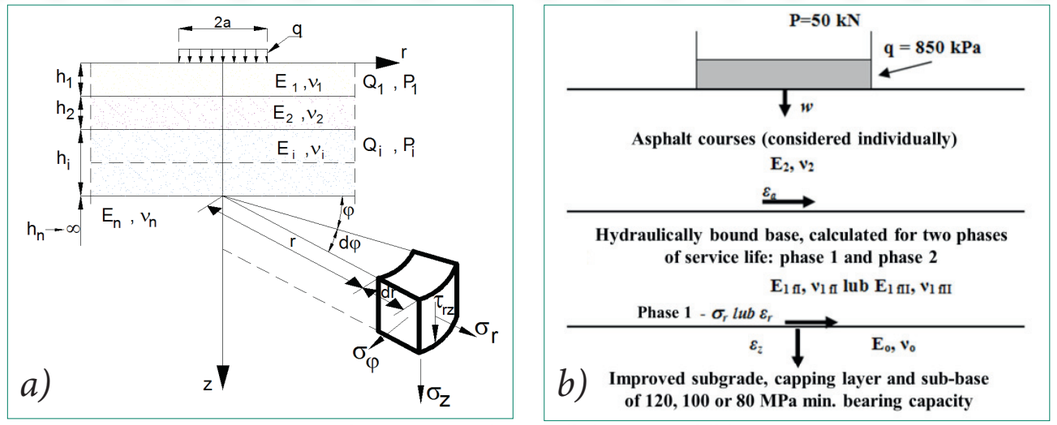
A BISAR számítógépes programot alkalmazták a különböző alsó burkolatú pályarendszerek kiértékelésére és megtervezésére, elasztikus réteges féltér modellel. A számítások célja annak ellenőrzése volt, hogy a rendszerekben alkalmazott rétegvastagságok biztosítják-e a szükséges teherbírás elérését az alsó burkolólapok tetején és a továbbfejlesztett aljzat tetején. Minden réteghez meghatároztuk az E-modulus és a Poisson arány megfelelő értékeit. Minden elemzett rendszerhez meghatároztuk a javított aljzat tetején és az alsó burkolat tetején lévő rugalmas behajlásokat. Az ekvivalens rugalmassági modulus Eeq értékét az elemzett rétegelt rendszerek tetején a Boussinesq-egyenlet felhasználásával számítottuk az alábbiak szerint:

$$E_{eq} = \frac{q \cdot D \cdot (1 - v^2)}{w} \qquad (2)$$

ahol:
Eeq – egyenértékű rugalmassági modulus a burkolat alsó szakaszainak tetején és a továbbfejlesztett aljzatréteg tetején, MPa
q – a gumiabroncs-burkolat érintkezési nyomása, q = 0,65 MPa,
D – a gumiabroncs egyenértékű érintkezési felületének átmérője, D = 0,313 m
n – Poisson-arány, n= 0,3,
w – alakváltozás a réteges rendszer tetején, m.

Számításokat végeztünk az alsóbbrendű burkolatok és javított aljzatok 14 különböző rendszerével, valamint az aljzat összes teherbírási osztályával – G4-től G1-ig. Néhány tipikus elrendezést (1–4. Típus) a KR5-7 és G4 forgalmi kategóriákhoz a 3. ábra mutat be.

A számított rétegvastagságokat összehasonlítottuk a katalógusokban megadott és más országokban alkalmazott tervezési módszerekkel kapott vastagságokkal. A javasolt tipikus burkolatszerkezetek lehetővé teszik ugyanazon építési módszer(ek) megadását az útszakaszok esetében, amelyekre a változó aljzatviszonyok jellemzők. Különös hangsúlyt kapnak a különféle hidraulikusan kötött keverékek és hidraulikusan kezelt talajok, valamint a meg nem kötött keverékek és a fagyra nem érzékeny talajok (természetes vagy mesterséges). Olyan megoldásokat javasolnak, amelyek biztosítják a talaj megfelelő vízelvezetését. A Katalógus új száma választást kínál az alsó rétegek különböző elrendezései és a továbbfejlesztett aljzatrétegek között, ami az 1997-es előző katalógusban nem volt lehetséges. Az új kiadás vastagabb megoldásokat határoz meg az 1997-es kiadáshoz képest, amelyek azonban a más országokban jelenleg használtakkal való megfelelés.



4. ábra. A számítások során alkalmazott modellek, a) rugalmas réteges féltér, b) félmerev burkolat felső szakaszainak modellje

8. A burkolat felső rétegei

Az előzetes vizsgálatok során számos mechanisztikus-empirikus tervezési módszert vontak be: (Asphalt Institute módszer [10], Shell burkolat tervezési módszer [10], francia módszer [6,7], AASHTO 2004 módszer [8, 9], Dempsey módszer [10], PCA módszer) és empirikus módszerek (AASHTO 1993 [1]). A számítási eredményeket összehasonlítottuk a többi európai országban használt szabványos burkolatszerkezetek katalógusaiban megadott értékekkel. Figyelembe véve a burkolóanyagok használatának fejlemények az előző katalógusban ajánlott tervezési módszerek közzététele óta, úgy döntöttünk, hogy az Asphalt Institute, Shell és AASHTO 1993 módszerek alkalmazása az előzetes számításokra és az eredményként kezelt eredményekre korlátozódik. A további alkalmazáshoz az AASHTO 2004 mechanizmus-empirikus módszerek és részben a francia módszer fáradási kritériumait választottuk ki. Az anyagok laboratóriumi vizsgálatából származó részletes adatok hiányában nem volt lehetséges az AASHTO 2004 aljzatfeszültség-kritériumát alkalmazni, és helyette az Asphalt Institute módszer korábban alkalmazott aljzat deformációs kritériumát választottuk.

A feszültség- és alakváltozási számításokat a rugalmas rétegezett féltér elméletének megfelelően végeztük (lásd 4a. Ábra). A feltételezések szerint egy tengely továbbítja a terhelést két egykeréken keresztül, amelyet P=50 kN terhelés és q=850 kPa gumiabroncs-burkolat érintkezési nyomás kör alakú érintkezési területe képvisel (lásd a 4. Ábrát) a korabeli nehéz tehergépjárműveknek megfelelően

A rugalmas burkolattervezéshez használt tervezési kritériumok a következők voltak: az aszfaltrétegek alulról felfelé történő fáradásos repedése a 2004. évi legújabb AASHTO M-ENPDM módszer szerint (lásd a 3. és 4. egyenletet) [8], valamint az Aszfalt Intézet módszerének maradandó alakváltozása. 1982 [10] Az aszfaltrétegekben a fáradási repedések kialakulásáig terjedő terhelések számát a következő egyenlettel számoltuk:

$$N_f = 7,3557 \cdot \left(10^{-5}\right) \cdot C \cdot k_1' \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281} \qquad (3)$$

ahol:
Nf – a terhelés ismétléseinek száma a fáradtság repedésének kialakulásáig a forgalmi sáv teljes felületének 50%-án,
k'1 – kalibrációs állandó az aszfaltréteg vastagságától és a fáradási repedés típusától függően,
εt – húzófeszültség a burkolat függőleges keresztmetszetének kritikus pontján, -
E – aszfaltréteg merevségi modulusa, MPa,
C – együttható az aszfaltkeverék térfogati paramétereitől függően, C = 10M-ként számítva, amelyben az M-et a következőképpen számítják:

$$M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69\right) \qquad (4)$$

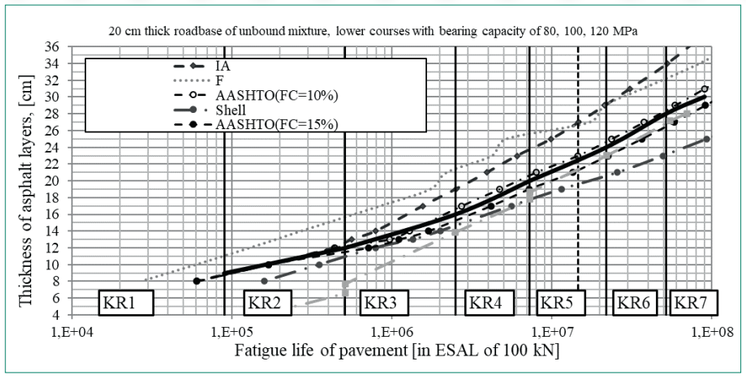
ahol:
Vb – bitumen tényleges tartalma,% v / v,
Va – a szabad hézag tartalom,% v / v.

Az AASHTO 2004 kritérium, amelyet a (3) és (4) egyenlet képvisel, a terhelés ismétlődésének számán alapul, amíg a forgalmi sáv teljes felületének 50%-án fáradtság repedés keletkezik. A fenti egyenletek átrendezésével azonban kiszámítható a terhelési alkalmazások száma a fáradtsági repedések bármilyen fejlettségi szintjén. Az elvégzett elemzések céljára a következő repedési súlyossági szinteket fogadták el: 10–20% a kötőanyag nélküli alapú burkolatoknál és 5–10% a teljes mélységű aszfalt burkolatoknál.

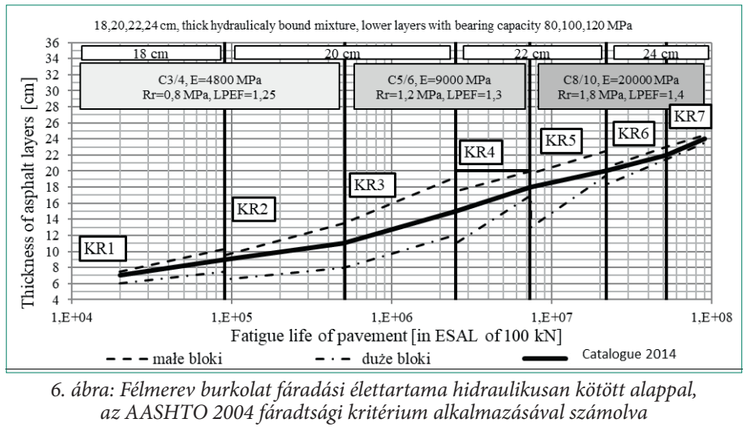
A félmerev burkolatok esetében a hidraulikusan kötött alap élettartama két szakaszra oszlott, és emellett a Dempsey kritériumaként ismert AASHTO 2004 repedési állapotot alkalmazták a hidraulikusan kötött rétegek esetében, amiről Judycki tárgyalt [10].

Az elvégzett számítások és elemzések szerint a [11]-ben bemutatott felső burkolatpályák minden vastagsága elegendő ahhoz, hogy teljes mértékben lefedje az utak megfelelő forgalmi osztályainak terhelési tartományait, amint az az 5. és 6. ábrán bemutatott példákon is látható. A számított vastagságokat emelték, hogy lehetővé tegyék az építési tűréseket. A számításokat azzal a feltételezéssel hajtottuk végre, hogy a továbbfejlesztett aljzat és az alsó burkolatalapok teherbírása az E2-vel jellemezhető, a KRi forgalmi osztálynak megfelelően 80, 100 és 120 MPa.

Az 1997-es katalógusszámhoz képest a 2014-es új kiadás tipikusabb lehetőségeket kínál a kötőanyag nélküli burkolatalapok felső rétegeinek tervezésére. Teljesen új a tipikus burkolatszerkezet, hideg újrahasznosított alappal és poró-



5. ábra: Kötőanyag nélküli alapú rugalmas burkolat (C90 / 3), 20 cm vastagságú fáradási élettartama, különböző fáradási kritériumok alkalmazásával számítva



6. ábra: Félmerev burkolat fáradási élettartama hidraulikusan kötött alappal, az AASHTO 2004 fáradtsági kritérium alkalmazásával számolva

No.	Type of pavement	Thickness of the upper courses of pavement, cm							
		Pavement course	Traffic class						
			KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6	KR7
1.	Flexible	Asphalt layers	9	12	16	20	24	28	30
		Unbound base, $C_{90/3}$	20	20	20	20	20	20	20
2.	Flexible	Asphalt layers	9	12	16	20	24	28	30
		Unbound base, $C_{50/30}$	22	22	22	22	22	22	22
3.	Flexible	Asphalt layers	9	12	-	-	-	-	-
		Unbound base, C_{NR}	25	25	-	-	-	-	-
4.	Flexible	Asphalt layers and base	14	18	22	26	30	34	36
5.	Flexible	Asphalt layers	8	12	12	16	-	-	-
		Mineral/cement/emulsion/ FBit base	15	15	20	20	-	-	-
6.	Semi-rigid	Asphalt layers	9	11	15	18	20	22	24
		Hydraulically-bound base	18	20	20	22	22	24	24
7.	Semi-rigid	Asphalt layers	9	11	-	-	-	-	-
		Hydraulically treated soil base	18	20	-	-	-	-	-

3. táblázat: A tipikus burkolatszerkezetek felső szakaszainak vastagsága [11]

zus aszfalt bitumenes rétegekben történő alkalmazásával. A tipikus burkolatszerkezetek felső szakaszainak vastagságait a 3. táblázat mutatja.

Félmerev burkolatoknál a reflexiós repedés komoly karbantartási problémát okoz. Ezért a 2014. évi katalógusszám olyan rendelkezéseket tartalmaz, amelyek betartása és betartása hatékony enyhítő intézkedés lehet. Ezek a rendelkezések magukban foglalják az építési gyakorlat és a hidraulikusan kötött rétegekben használt anyagok követelményeit, valamint néhány speciális intézkedést: hornyok vagy vágások készítése a hidraulikusan kötött réteg felületén és közbenső rétegek építése.

9. Következtetések

A tipikus hajlékony és félmerev burkolatok új katalógusa [11] új terhelés-egyenértékűségi tényezőket tartalmaz (a járművek egyenértékű egytengelyes terhelési alkalmazásokká történő átalakítására), meghatároz egy új forgalmi kategóriát, jelentősen meghosszabbítja az autópálya és a főút burkolatának tervezett élettartamát. Módosítja a meglévő és új altalaj-kezelési módszereket, új anyagokat vezet be, ideértve az újrahasznosított anyagokat is, amelyek a burkolat felső és alsó szakaszának építéséhez és az aljzat javításához szolgálnak. Ezenkívül tartalmaz olyan rendelkezéseket, amelyek jelentősen csökkentik a félmerev burkolatok reflexiós repedésének problémáját.

A biztonsági tartalékokat a következő, a katalógusban szereplő kérdésekre alkalmazzák: forgalomszámítási módszer, aszfalt és hidraulikusan kötött alaprétegek mechanikai tulajdonságai, a katalógusban szereplő szabványos katalógus burkolatszerkezet elfogadásának módszertana és az építési tűrések kiválasztása.

A Katalógus új kiadása sokkal szélesebb választékot kínál a különböző rendszerek és konstrukciós módszerek között, lehetővé téve azok helyi körülményekhez igazítását.

Hivatkozások

1. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, USA, 1993.
2. Corte J.F. i wsp. Conception et dimensionnement des structures de chaussee, LCPC, Francja, 1994.
3. Estándar 6.1 IC, Secciones de firme, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, España, 2003.
4. Guide technique: Réalisation des rembilais et des couches de forme. Fascicule I – Principes généraux. Service d'Études des Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA), 2eme Edition 2000.
5. Interim Advice Note IAN 73/06 Rev 1 Design Guidance For Road Pavement Roadbases, 2009.
6. Jaczewski M., Judycki J. Adaptaton of the French fatigue criteria for designing of flexible pavements in Poland. In Drogownictwo journal, issue No. 5, 2012, pp. 164–170.
7. Jaczewski M., Judycki J.: Application in Poland of the French method for designing bituminous pavements including hydraulically bound roadbase. In Drogownictwo journal, issue No. 6, 2012, pp. 199–203.
8. Judycki J.: Building and calibration of models to investigate fatigue cracking in bituminous road pavements designed with the mechanistic-empirical method AASHTO 2004. In Drogi i Mosty journal, issue No. 4, 2011, pp. 31–53.
9. Judycki J.: Models to investigate fatigue cracking in bituminous road pavements designed with the mechanistic-empirical method AASHTO 2004. In Drogownictwo journal, issue No. 11, 2011, pp. 343–347.
10. Judycki J.: Comparison of fatigue criteria used in the design of flexible and semi-rigid pavements in relation to the new issue of the Polish Catalogue of flexible and semi-rigid pavements (Part 1). In Drogownictwo journal, issue No. 1, 1999, pp. 5-18.
11. Judycki J. et al.: Catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements, Gdańsk Technical University, Gdańsk, rev. dated 11.03.2013, (posted at: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-po-roku-2_3432/Weryfikacja%20KataloguTNPiP_Etap4_final_11%2003 %202013.pdf).
12. Judycki J., Grajewska A. et al.: Recommendations for calculating the load equivalency factors for flexible and semi-rigid pavements. Gdańsk University of Technology, Highway Agency (GDDKiA), Gdańsk, 2006.
13. Judycki J., Jaskuła P., Pszczoła M., Ryś D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołżycki B., Stienss M.: Analyses and design of flexible and semi-rigid pavements. Publisher: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2014.
14. Catalogue of typical flexible and semi-rigid pavements, IBDiM, GDDKiA, Warsaw, 1997.
15. Ryś D., Judycki J., Jaskuła P., Determination of vehicles load equivalency factors for Polish catalogue of typical flexible and semi-rigid pavement structures , Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, Pages 2382–2391, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.272
16. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) – "Retraitement en place a froid des anciennes chaussees" – Przewodnik techniczny, Bagneux Cedex (France), 2003.
17. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau ZTVE-StB 94, pub. 1994 / rev. 1997.
18. Order no 31 of General Director of National Roads and Motorways, 16 June 2014 regarding Catalogue of Typical Flexible and Semi-rigid Pavements, published online: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarzadzenia-generalnego-dyrektor_13901/zarzadzenie%2031%20zalacznik.pdf
19. Dz.U. 2015 poz. 329 Order of Ministry of Infrastructure and Regional Development, 17 February 2015 r. regarding the change of Order regarding technical requirements for public roads and their location, published 25 March 2015.

Eldőlt a verseny a beton és az aszfaltburkolat között?

Dr. Törőcsik Frigyes

nyugdíjas
okleveles építőmérnök

Manapság, amikor napjainkban egyszerre több helyen is épült és épül autópálya, vagy autóút (M-43, M-35, M-25, M-30, valamint a 86-os, 85-ös, 4-es, stb. főutak helyett autóutak), akkor joggal vetődik fel a kérdés, hogy ezeknél fel sem vetődött a betonburkolat építése? Tovább fokozza a kíváncsiságot, hogy amíg ezek az autópálya, autóút szakaszok nagysúlyú járműforgalma nem minden esetben éri el az **„R" forgalmi határt, addig a soron következő M-1 autópálya felújítása utáni bővítése igencsak eléri azt a tervezési időszakban**. Akkor most miből fog épülni az M-1 burkolata? A kérdés időszerűségét alátámasztja az is, hogy az M-0 keleti szektora és az M-31 betonburkolatának minőségét kiértékelte-e a szakma? Tény, hogy az építésüket megelőzte egy tekintélyes szakmai bizottság javaslata, amelyre alapozva született a kormányhatározat arra vonatkozóan, hogy az M-0 autópálya tovább építése betonburkolattal készüljön.

A döntés előkészítési tanulmány igazodott a nemzetközi **rendszerszintű tapasztalathoz**; az építési költségek, a fenntartás üzemeltetési igényesség és legfőképpen az élettartamot érintően az aszfaltburkolatokkal összehasonlítva. Természetesen a hazai tapasztalatokra csak hézagosan térhettek ki a szerzők, hiszen a betonburkolatokra a II. világháború előtti és az utána épült M-7 autópálya betonburkolatára lehetett támaszkodni, amelyek a **rendszerszintű tapasztalatokat nemigen támaszthatták alá az ismert körülmények miatt**. A munkabizottságot viszont alapos minőségi gondokkal szembesítette az M-0 autópálya déli szakaszán kialakult tömeges aszfalt keréknyomvályúsodás. Bár kellően indokolt volt a meghibásodások oka; félpályára felfestéssel ráterelt 2x2 nyom. A meghibásodásokban a vártnál lényegesen nagyobb nemzetközi nagysúlyú járművek forgalma, a korábbi nyaraknál jelentősen melegebb napok száma is közrejátszhatott, meg az is, hogy az építés idején a félpálya aszfaltburkolat méretezése, anyagválasztása nem olyan nagyságú és összetételű forgalomra történt. **A leszűkített forgalmi sávokon kanalizált, szűk sávban történő közlekedés keréknyomvályúit sűrűn javítani, burkolatcserét kellett alkalmazni.**

Ez a jelenség kellő alapot adhatott az elvi alapokon munkálkodó bizottságnak a betonburkolat melletti ajánlására. A szakmai közvélemény óvatos volt a véleménynyilvánításban. Mind az autópálya üzemeltetők, mind a kivitelezők kétségeikről nyilatkoztak, különösen a jelentősebb fenntartási költségek nélküli betonburkolat esetében, valamint az összesített költségelemzés tekintetében (beruházási költségek és fenntartási költségek összessége tekintetében). **E cikk szerzőjének meggyőződése, hogy pusztán a nemzetközi evidenciákat nem lehet átvenni hazai viszonyok közé sok alapvető körülmény, feltétel miatt, amelyből csak párat sorolok fel:**

– építőanyag ellátottság, anyagok minősége
– gépészeti, technikai felszereltség

és a legfontosabb:

– a mérnökök, szakmunkások gyakorlata, készsége mindkét technológia esetére.

Ha ezeknek csak a lényeges elemeit vizsgálva a hazai helyzetet elemezzük a XX. Század végén, a XXI. század első éveiben készült betonburkolatokra, akkor a helyzetünk máris nem tűnik olyan egyértelműen világosnak.

Ahhoz, hogy e tekintetben meggyőző érveket találjunk e két burkolattípusra, célszerű áttekinteni hazánk gyakorlatát. Mielőtt belefognék egy tömör visszatekintésbe jelzem, hogy több, mint tíz-tizenöt kollégával konzultáltam annak érdekében, hogy egy cikk keretein belül lehetőleg minden oldalról tájékozódjak nem csak e két technológia felől, hanem minden más, a szakmánkban történő alapvető kérdésekben való döntési folyamatokról is.

Nézzük tehát először a szakmatörténtünkben az aszfalt és a beton szerepét. A XIX. Században abban a szerencsés helyzetben voltunk, hogy Európában az elsők között tudtunk aszfaltburkolatot építeni, mert volt természetes aszfalt–bitumen lelőhelyünk Derna-Tataroson. Európában abban az időben csak két ország rendelkezett ilyen természetes lelőhellyel; Svájc és Franciaország. Sikeresen is hasznosítottuk a lehetőségünket. Mindezekről bővebben a „150 éves a magyar aszfaltútépítés" című szakkönyvben lehet olvasni. Az aszfalt tömeges alkalmazása, különösen a városokban, hazánkat az európai első országok közé sorolta. Ennek a szerencsés lehetőségnek az I. világháború (1920) után vége szakadt. Az I. Világháború után a közúti szakemberek felkészültségét és leleményességét dicséri, hogy amikor az ország gazdasági lehetőségei megengedték, **kifejlesztették a betonburkolat építésének szakmai feltételeit. Több, mint 1000km jó minőségű betonburkolat épült az országban.** Európa is felfigyelt rá. Elsők között csatlakoztunk az angolok kezdeményezéséhez: egy London-Isztambul autóút tervéhez. Ennek részeként épült az 1-es sz. Főúton az autóversenyek számára is alkalmas betonburkolat. (Erről is lehet bővebben olvasni a „150 éves a magyar aszfaltútépítés" című szakkönyvben) Ekkor is működött még a XIX. Században alapított Állami Építészeti Hivatal, melynek nagy hagyományokkal bíró, jól képzett mérnökei **megalapozták a hazai betonútépítés alapjait is.** Erről a korról is, és a teljes hazai betonútépítésről bővebben a „Betonburkolatok" című szakkönyvben lehet olvasni.

A két útburkolat típus versenyét és a további sikeres útépítéseket ismét egy háború, a II. Világháború szakította félbe. A háborús veszteségek nem csak az anyagi forrásokat érintették, hanem a technikai felszereltségben is hatalmas veszteségeket okoztak. Az újjáépítés során az új útburkolatokat zömmel a háború előtt bevált betonból építették, amelynek katonapolitikai okai is voltak. (7-es, 37-es, 41-es számú főutak) A betonburkolatok nagy mennyiségű igényes készítését a 11 katonai repülőtér építése és a különböző nagy politikai célkitűzésnek megfelelő ipari beruházások is késztették. Ezekre a feladatokra abban az időben egy nagyvállalatot: a Betonútépítő Vállalatot készítették fel. Az ország úthálózata csaknem teljes hosszában makadámrendszerű, hézagos, keskeny szélességű volt, a főutak egy részének kivételével. A háborús károk helyreállítása ezeken aszfaltot kívánt volna, azonban a gépi felszereltség is nagy károkat szenvedett, vagy országon kívülre került. Száraz kőpótlásos és permetezéses eljárások, technológiák álltak rendelkezésre. (Itatásos, kötőzúzalékos, felületi kezeléses feketeburkolatok és pormentesítés olajjal) Elemi erővel jelentkezett a kornak megfelelő melegaszfalt keverőgépek tömeges igénye. A Közúti Gépellátó Vállalat - amely előtte csak hengerekkel és a permetezéses technológiákhoz szükséges egyszerű gépekkel rendelkezett – gyártani kezdte a 25 tonna/óra kapacitású melegaszfaltkeverő gépeket, a C-25-öst. Közel 100 darabot készítettek hazai és külföldi vállalkozásoknak. **A hatvanas évtizedben**, amíg ezek a gépek iparszerűen nem terjedtek el, **mintegy 700km betonburkolat épült** főutakon a már említett irányokba, és az M-7 autópályán. A hetvenes évtizedig gyakorlatilag helyreállítási munkák folytak, és pár jelentős főút külsőségi szakaszának, és nagyobb városok átkelési szakaszának korszerűsítése történt a tervezési irányelvek szigorú betartásával, hosszú átfutási idővel, gyakran határidő csúszással.

A közúti szakmát idő közben több, rendkívül súlyos hatás érte. Sok átszervezés, megszűnt az ÁÉH, a kőbányákat más minisztérium alá rendelték. Időközben a közúti szállítások rendkívüli módon növekedtek a nagy országos beruházások hatására is. **Legsúlyosabb hatást azonban a téli, tavaszi fagy és olvadási károk okozták** a zömmel hézagos, kis szerkezeti vastagságú, vízáteresztő, makadámrendszerű hálózatban. A szerény pénzügyi lehetőségekből fajlagosan aránytalan nagyságrendet igényeltek az útkorszerűsítések abban az időszakban. A szinte járhatatlan tavaszi útállapot gyors, hatékony helyreállítására sem elegendő forrás, sem gépi felszereltség nem állt rendelkezésre.

Ezt a helyzetet felismerve alapvető vezetési változást igényelt az útügyi szakma, melyet a minisztérium is támogatott. A teljes szakmai irányítás cseréjét a célok felülvizsgálata követte, majd a teljes útpolitika is megváltozott. E célkitűzés szempontjából a meglévő burkolatok állagmegóvása, felületük zárása, aszfaltburkolattal való ellátása érdekében egy melegaszfalt szőnyegezési program erőltetett megvalósítása volt a meghatározó. A közúti szakma az irányítástól a kivitelezésen át, a közútkezelők felkészülésén keresztül mind szakemberek, mind technikai felszereltség tekintetében addig soha nem tapasztalt szemléletváltozáson ment keresztül. A motorizációs igényekkel szemben a hetvenes és a nyolcvanas évtized első felében a szakma sikeresen vette fel a versenyt a végrehajtott szervezeti- és szemléletváltás után. A melegaszfaltgyártásban és építésben már a hetvenes évtized derekán hat-hétmillió tonnát teljesített a kivitelező szakma, pedig akkor még kevés nagyobb teljesítményű aszfaltkeverőgép volt a C-25-ösök mellett. Egy-egy keverőgép nem ritkán kétszáz-kétszázötven munkanapon dolgozott két műszakban, sokszor az ünnepnapokon is. **A szakma megtanult jó minőségű melegaszfaltot gyártani és beépíteni.** Időközben a II. világháború előtt és után épített betonburkolatokat le kellett aszfaltozni, beleértve az M-7 autópályát is. Ebbe a feladatsorba illeszkedett az M-7 legkorábban épült balpálya leburkolása is, amely azért jelentett különös kihívást, mert a hagyományos betonpálya felújítási eljárást (táblák törése, 15-16 cm vastagságú aszfalt) nem lehetett követni a hosszú pályalezárási igény és a tetemes költsége miatt. Európában is figyelemfelkeltő módon, törés nélkül, 3cm vastagságú modifikált aszfalt került elhelyezésre. Az elvárt minimum 5 év helyett 10-15 évig állt a burkolat.

A történeti visszatekintést azzal kell folytatni, hogy az M-0 autópálya is aszfaltburkolattal lett tervezve még az 1900-as évek utolsó éveiben. Egy kis kitérőt is tennem kell, mert kevesen ismerik azt a jelenséget, hogy amikor az M-0-t tervezték (1989), és az első szakaszon forgalomba helyezésére készült a szakma, senki nem gondolta, hogy olyan gyorsan akkora forgalom lesz rajta, mint amilyen lett. A minisztériumból olyan levelek mentek ki a különböző szállító, fuvarozó vállalatokhoz, hogy a fogalomba helyezés után **vegyék figyelembe az útvonaltervezésnél az M-0 darabját, nehogy kevés legyen rajta a forgalom. Nem tréfa!** A rendszerváltást követően, és az Európai Unióba való belépésünk után teljesen megváltozott a hazai nagysúlyú járművek forgalma és a nemzetközi tranzitforgalom nagysága és részben iránya is. Az M-0 autópálya ütemezett kiépítése olyan szükségmegoldást is eredményezett, hogy félpályán 2x2 nyomsávot festettek fel szűkített sávszélességekkel. A pénzügyi források mennyiségének ingadozásával az egyké évre tervezett megoldás állandósulni látszott, miközben a nagysúlyú járművek forgalma monoton növekedett a nemzetközi tranzitforgalom erősödésével is.

Az aszfaltburkolat a szűkített sávokban kanalizálódott forgalom hatására rohamosan keréknyomvályúsodott, egyre balesetveszélyesebb lett, különösen a csapadékos téli időjárás idején. Rendszeres javításra és burkolatcserére is szükség volt ezeken a szakaszokon, **amely felvetette a visszatérés gondolatát a betonburkolat építéséhez**.

A döntés előkészítéssel megbízott munkabizottság a két burkolatfajta **rendszerszintű** (előnyök-hátrányok, beruházási-fenntartási költségek az élettartam alatt) **elemzését elvégezte hazai körülményekre adaptálva, elméleti költségekre alapozva**. Ez az elemzés szerepel a „Betonburkolatok" című könyvben is. A döntés előkészítő tanulmányt készítők megalapozva látták a javaslatot: a folytatás betonburkolattal készüljön, bízva a hazai betonburkolat építés hagyományaiban és a pár előre elkészített próbaszakasz pillanatnyi állapotában. Az M0 autópálya továbbépítése tehát betonburkolattal lett tervezve és meghirdetve a kivitelezésre. A kivitelezés több szakaszra lett bontva, a versenyt is több kivitelező nyerte meg. Valamennyien külföldi referenciákkal nyerték meg az adott szakaszt. Az üzembe helyezések után a betonburkolatoktól elvárható minőséget az autópálya üzemeltetője rendszeres felülvizsgálattal ellenőrizte és gyűjtötte a talált meghibásodásokat. A cikk keretében ezekre tételesen nem térek ki, ezek megismerhetők a NIF nyilvántartásában és Karoliny Márton 2018-ban megjelent **„Útpályaszerkezeti esettanulmányok: A beton vs. aszfalt probléma"** című alapos, részletes tanulmányá-

ban. A **hibagyűjtemény enyhén szólva is nem igazolja a rendszerszintű elméleti felvetést**, amely szerint a betonburkolatok fenntartása jelentősen kevesebb az aszfaltburkolaténál. Tételesen nem foglalkozom a betonburkolatok javításának technológiai igényességével, előmunka és különleges anyagigényeivel, sem a technológiai időigényével, amely mindig forgalomtereléssel jár, csak a költség összehasonlítással.

Nem ismerem jelenleg milyen tanulmányok születtek, milyen előterjesztések készültek, azonban a hosszú gyakorlatom alatt szerzett tapasztalatok és a már említett több mint egy tucat szakmai konzultáció birtokában megengedek magamnak pár gondolat közlését nem fontossági sorrendben és tekintet nélkül arra, hogy jelenleg milyen szokások és rendszer uralkodik a hazai munkák odaítélésében.

– **A pár előzőleg készített kísérleti munkát nem azok készítették, akik a versenyben az egyes szakaszokat megnyerték.** Azok vagy nem indultak, vagy nem nyertek.
– Egyik nyertes vállalkozásnak sem volt hazai ipari méretű referenciája. Nemzetközi, anyavállalat adta, stb. Lehet, hogy a nemzetközi életben ez elegendő, így szokás, de -- amint a példa itthon mutatja – nem működött. Nem az a kérdés, hogy a nyertesek anyacége tud-e jó betonburkolatot építeni a különböző Nyugat-európai országokban, hanem az, hogy hazánkban tudnak-e. Miért lehetséges ez? Külföldről behozott gépekkel és személyzettel, gyakorlatlan hazai segítséggel és anélkül a munkához szükséges erkölcsi, szellemi értékek hiányoztak. Lehet ezen elmélkedni, sőt vitatkozni is, de egy kényes technológiához a személyi referencia, mérnök, művezető, szakmunkás, gépkezelő nélkül nem szabad lenne hozzáfogni. Nálunk így történt. **Hosszú együttdolgozás, gyakorlat adja a minőséget**. Így dolgozott az aszfaltburkolat építő szakma. (Csak zárójelben írom, hogy hasonló okoknak is volt következménye az M6-os autópálya alagút beomlása is. Személyes érintettségem okán is merem leírni!)
– A nyertes vállalkozásoknak külön-külön számtalan alvállalkozója, társvállalkozója volt. Más építette az alapot, a földművet, műtárgyakat stb. stb.
– Mindezek működhetnek jól egy-egy összeszokott csapatnál. Nálunk nem erről volt szó.
– **Nem ismerhető, hogy a külföldi tulajdonú vállalkozások hogyan tekintenek a garanciális feladatokra, mit terveznek be előre, milyen anyagi és erkölcsi szempontrendszerük van**. Jó lenne tudni, hogy ezt a szakmai presztízs veszteséget hogyan élik meg.

A fentiek némelyike, többsége, igen fontos tényező lehet a létesítmény minősége szempontjából, azonban nem mindig lehet egzakt versenyszempontként szerepeltetni és különösen előnyként figyelembe venni azokat. Ha az M0 betonburkolatú szakaszainak korai meghibásodásait ki akarja deríteni a szakma, akkor ezekre is oda kell figyelni.

Figyelemmel arra, hogy még igen jelentős autópálya szakaszok felújítása lesz soron, pl.**M1**, akkor az előbbiekre is figyelemmel kell lenni, ha annak a burkolata betonból készül. Jelenleg a javítások aszfaltból készülnek, de a **2x3 sávra való bővítéskor ismét vizsgálni célszerű a beton alkalmazását**. A döntés előkészítéssel foglalkozó kollégák, szakemberek minden bizonnyal alaposan, részletesen foglalkoztak már az M0 betonburkolat minőségével, a hibák fajtáival és annak okaival. Az általam e cikk keretei között gondolt pár hiba előfordulási lehetőséget elemezve nyilván feltárták, hogy a jelenlegi hazai körülmények között melyek küszöbölhetőek ki és melyek azok, amelyek rendszerszerű, újbóli előfordulását nem lehet megelőzni. Nem tudhatja egyetlen olyan kolléga sem, így én sem, hogy a rendszer működését pontosan ismerők milyen más szempontok érvényesülését veszik még figyelembe. **Megelőlegezve azt a lehetőséget, hogy az ismételt meghibásodásokat a szakmai vezetés mindenképpen el akarja kerülni**, ezért minden autópályán a jövőben, így az M1 2x3 sávra bővítését is, ha aszfaltból tervezi kiviteleztetni, több igen fontos, kényes technológiai szempontot mérlegelni kellene. Elöljáróban az M7 bal pálya betonburkolatának leaszfaltozására emlékeztetnék az 1980-as évek második felében. (a beton törése nélkül, számi rétegre fektetett 3 cm vtg modifikált aszfalt volt)

A jövőbeni keréknyomvályúsodás megelőzése érdekében **minél vékonyabb felső kötő és kopóréteg készülhet modifikált aszfaltokból,** nagy teherbírású szemszerkezettel. Másik lehetőség is alkalmas lehet: a **folyamatos szemszerkezetű**, laboratóriumban tervezett, keverőtelepen összeállított, **kőalapokra helyezett vékonyaszfalt**. **Mindkét változat több kísérleti építést kívánna**, hogy pontosan lássék a nagysúlyú forgalom alatti viselkedésük. Mindkét gondolat különbözik az eddigi hazai gyakorlattól, ezért előtte elkerülhetetlen a nemzetközi tapasztalatok feltárása is annak érdekében, hogy ipari méretekben ne kövessünk el olyan méretezési és főleg kivitelezési hibát, amely nem lenne méltó a szakmához.

Összefoglalás és javaslat

A hazai két vezető útburkolat fajta eddigi alkalmazásából kétségtelenül az derül ki, hogy az **aszfaltburkolatnak van jobb és több minőségi referenciája.** Árnyalja ezt a képet, hogy a két világháború között, amikor nem sok választási lehetősége volt a szakmának, akkor készültek jó minőségű, időtálló betonburkolatok. Igaz, az akkori közúti forgalmi terhelés nem is említhető egy napon a későbbiekkel. **Az utóbbi két jelentős mennyiségű betonburkolat** (igaz az M0 csak tizede az előtte lévő, a II. világháború utáni időszakban készültnek!) **nem igazán igazolta a rendszerszintű összehasonlításban szereplő előnyöket.**

Érthető, ha a döntéshozók ma óvatosak és szívesebben választanák az aszfaltburkolatot, csak azt nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy pl. az M1-nek 2x3 sávosra bővítésénél „R” nagyságú forgalomra kell alkalmasnak lennie. Milyen aszfaltok felelnek meg ennek a követelménynek, alkalmasak vagyunk-e ilyen burkolatok építésére – mindez számomra még nem bizonyított.

Lehetnek olyan módszerek, amelyekkel a megrendelő (az állam) a felelősséget megoszthatja a kivitelezőkkel. Pl. ha a kivitelező hosszabb, 10-15 év garanciát kell, hogy vállaljon, vagy pl. a kivitelező köteles hasonló ideig az autópálya fenntartásáról is gondoskodni. Vannak erre példák, igaz azok koncesszióban készültek. Vannak tehát gondolatok, lehetőségek, melyeket közös bölcsességgel sikeresebben oldhatna meg a szakmai vezetés.

A közúti szakmában sok, jól felkészült, nagy gyakorlattal rendelkező kolléga van még ma is, csak meg kell hallgatni őket és utána dönteni. Ebben az esetben elkerülhető lesz az M0 mai betonburkolatának helyzete, minősége.

Betonútépítő aszfaltos fejlesztései 1973–1995 között

Jencs Árpád

nyugdíjas,
diplomás építőmérnök

Bevezető

A régmúlt emlékeit és sikereit felidézni, és az azóta elmúlt időben elhunyt kollégákra emlékezni 70 éves kor felett mindig felemelő érzés. A fiatal kollégáknak talán ez fontos ismeret lehet még akkor is, ha némelyik innováció, technológia azóta kiment a divatból. De hát ez a szakmatörténelem egy szelete, melyben a Betonútépítő e korszakbeli hét technológiájáról számolok be, neveket is említve. Mindehhez az igen hosszú ideig tartó, olykor kutatás jellegű kísérletekhez, gyártást előkészítő vizsgálatokhoz egy erős, jól felszerelt központi laboratóriumi háttér kellett kiváló szakemberekkel. Ez volt a Betonútépítő Vállalat Központi Laboratóriuma.

A fejlesztéshez az is hozzátartozik, hogy figyelni, tanulmányozni kell a tőlünk fejlettebb, gazdagabb országok szakirodalmi publikációit és a helyszínen, tanulmányúton is kell vizsgálni és értékelni a máshol megvalósított újat. A honosítás nem könnyű, szorgos munka kell hozzá, persze a legnagyobb siker a saját gondolatból fakadó innováció, a saját hazai találmány. Az igazi technológus az, aki az előbb említetteken túl a megvalósítási folyamat minden részletében nemcsak résztvevője, hanem egy személyben irányítója kell legyen az előkészítés, a gyártás és az építés területén. Akinek az innováció megvalósítása után az élettartam tudományosan igényes, alapos megfigyelésére is lehetősége van, akkor mondhatjuk, ez az ideális, sőt a tökéletes. A továbbiakban az ebben az időszakban a folyamatos európai, sőt esetenként világszínvonalú gépek, gépláncok beszerzéseit (három kivételtől eltekintve), melyek technológiai fejlesztéseket jelentettek, nem tárgyaljuk.

1. SLURRY SEAL
Bitumenemulziós iszapbevonat

1960-ban az Egyesült Államokbeli texasi Young cég által gyártott bitumenes iszapbevonatot folyamatosan keverő és bedolgozó gépet mutattak be. Az eljárást Slurry Seal néven ismertették. Ez vékony rétegvastagságban elteríthető olyan bevonat, amelynek alapanyagai kationaktív bitumenemulzió, kötéskésleltető, zúzott homok és/vagy természetes homok, cement és víz. A Slurry Seal bevonatot a Betonútépítő Vállalat 1973 óta építette, kezdetben Young Slurry Seal SB 504 típusú, majd egy Pietsch gyártmányú célgéppel, amely keverőegysége folyamatosan állítja elő az alapanyagokból a keveréket, és terítő ládája a bevonatot folyamatosan teríti el a burkolat felületén (1. kép). A kezdeteket **Simon Miklós** vezetésével az Útügyi Kutató Intézet laboratóriuma segítette, a technológia művelését **Gärtner László** irányította, az országos építést **Bakó Attila** vezette.

Alkalmazási terület

A bevonat fenntartási célt szolgáló védőbevonat, amelynek alkalmazási területe: aszfalt- és betonburkolatok felületi konzerválása, nyitott, kezdeti bomlást mutató területek lezárása, csúszós felületek csúszósúrlódásának növelése. Felületi hullámok kiegyenlítésére, megnyílt, továbbá teherbírási elégtelenségből származó hajszálrepedések tartós lezárására a bevonat nem alkalmas.

A keverék jellemzői

A keverék alapanyagai szobi, uzsai, tállyai vagy nógrádkövesdi UNZ 0/5 jelű zúzott homok, természetes homok voltak, amelyekben a 2 mm-es szitán fennmaradó rész 15 t%, a 0,02 mm-nél kisebb rész legfeljebb 6 t%, cement, kationaktív S jelű bitumenemulzió, 0,45–0,60 t% Redicote E-11 kötéskésleltető és víz. A keverék folyamatos szemeloszlású, kétféle iszapbevonat készült: I.jelű: 0/2 mm-es ásványi anyaggal és 12–16% bitumentartalommal kiegyenlítő rétegként vagy keréknyomokban. II.jelű: 0/5 mm-es ásványi anyaggal és 9–13% bitumentartalommal kopórétegként (1. ábra). A bitumenemulziós iszapbevonatot a célgép keveri és teríti el. A gép tartályainak 10–12 t mennyiségű feltöltése után folyamatosan halad végig a bevonandó útszakaszon, miközben keverőjében folyamatosan állítja elő az iszapot az előre meghatározott összetételnek megfelelően, és terítőládájával folyamatosan teríti el 2,5–4 m közötti, előre megválasztható szélességben (2. ábra).

A beépített réteg jellemzői

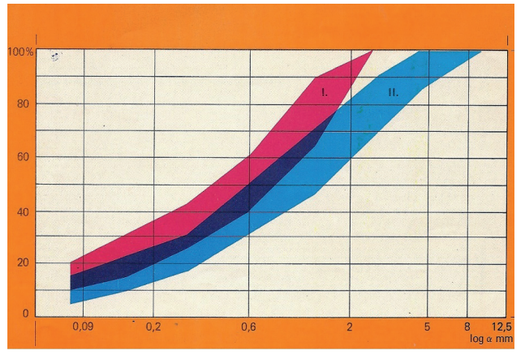
A bevonat vastagsága egy rétegben 3–5 mm, a pályaszerkezet teherbírását nem növeli. Az elterített iszap a bitumenemulzió megtörése és vizének elpárolgása után szilárd bevonattá alakul, amely tömörítést nem igényel. Ez az időtartam a terítés után kb. 15–30 perc. A friss bevonat nyáron 2–3, kora tavasszal és ősszel 4–6 óra múlva adható át a forgalomnak. A bevonat csúszásellenállása SRT értékben kifejezve 50–52. A bevonat várható élettartama abban az esetben, ha a burkolás célja a lezárás, ill. konzerválás, akkor legalább 4 év. Ha a burkolás célja érdesítés, akkor a forgalom nagyságától függően, a forgalmi kategóriával fordított arányban az élettartam 2–6 év.

1. kép

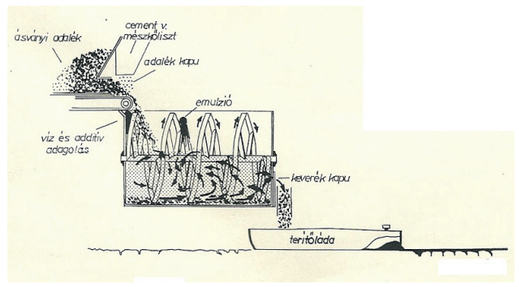
2. A Betonútépítő Vállalat drén-aszfalt kísérleti építései 1976-ban

Az USA minisztériumi és útügyi szervezetei segítségével helyszínen is tanulmányozta **Hoós László** a drén-aszfalt tervezési és építési tapasztalatait az USA-ban, ahol 1950 óta építik ezt az aszfalt típust. A Szövetségi Útügyi Szervezet az ásványi keverék szemeloszlására a következő határértéket írta elő:

0,0–0,09 mm	2–6%
- 0,20 mm	3–8%
- 0,63 mm	4–11%
- 2,00 mm	5–15%
- 5,00 mm	35–55%
- 8,00 mm	80–100%
-12,50 mm	100%



1. ábra



2. ábra

Általában 80–100-as penetrációjú bitument használnak 6,5–7,5% mennyiségben. A 2–3 cm vastagságú kopóréteg élettartamát 6-8 évre teszik.

Ezen tapasztalatok alapján épült kísérleti szakasz 1976-ban a 21 109 j. szada-mogyoródi út 4+300 – 4+800 km sz. szakaszán. A Szövetségi Útügyi Szervezet ajánlása szerinti határérték betartásával 6,3% RB-90 bitumennel, 15% NZ 0/5 és 85% NZ 5/12 nógrádkövesdi zúzottkőből, MARINI 70 P E-180 tip. keverővel (2. kép), 90 t/ó teljesítménnyel, MARINI finiserrel 2x3,0 m szélességben, 0,5 kg/m² bitumenemulzió alápermetezéssel 2,5 cm vastagságban épült. A bitumen hőmérséklete 155°C, az aszfalt hőmérséklete 120–130°C volt. A finiser simítópallójának rezgésszáma 3100 rezgés/perc volt, a döngölőpallóé pedig 1250 rezgés/perc. A hengerlést SVTW-30 tip. henger végezte. A laboratóriumi előkísérleteket és a megvalósítást **Jencs Árpád** irányította.

A 60-as évektől Angliában is kifejlesztették a drén-aszfaltot. Az ásványi keverék szemeloszlásának határértékeire az alábbiakat írták elő:

0,0-0,09 mm	3–5%
- 0,20 mm	5–11%
- 0,63 mm	10–15%
- 2,00 mm	15–20%
- 5,00 mm	35–45%
- 8,00 mm	80–100%
-12,50 mm	100%

Az aszfaltkeverék bitumentartalma 4,4–4,8%. A kőanyagok kedvezőtlenebb felületi tulajdonságai miatt sokszor használnak tapadás-javítószert, és gyakran gumi- vagy kaucsuk porral adalékolják a bitument. A várható élettartamot 6–8 évnél kevesebbre becsülik.

Ezen előírásokhoz közelálló keverékkel kísérleti szakaszt építettek 1976-ban a 3111 j. ecser-monori összekötő úton a 3+875 – 5+950 km sz. között háromféle keverékkel. Az egyiket uzsai NZ 5/12 és NZ 0/5 zúzalékból, a másik két keveréket az NZ 5/12 zúzalék rostálásával előállított 0/4, 4/8 és 8/12 zúzalék frakcióból állították össze. A keverék 5% mészkőliszten kívül 5% RB 90-es bitument tartalmazott. A keveréket MARINI 70 P E-180 tip. keverőgépen 90 t/ó teljesítménnyel, 130-140°C-on állították elő. A beépítést MARINI tip. finiser végezte 2x3,0 m szélességben, 0,5 kg/m² bitumenemulzió alápermetezésével, 2–2,5 cm vastagságban, Wibromax 701, SVTW tip. hengerek tömörítésével. Mindkét szakaszon mérték a homokmélységet, az SRT értékét ingás érdességmérő készülékkel, a burkolat csúszásellenállását SCRIM mérőkocsival, és a burkolat egyenetlenséget. A porózus aszfalt kopóréteg beépítési tapasztalatai nem különböztek az egyéb aszfaltfajták beépítésétől. A felületre öntött víz kifolyt a padkára, melyet zivatarok idején is megfigyeltek. A szabadhézag megállapítására valamenyi ismert módszert alkalmazták, annak nagyságára 10–16 térf.%-ot mértek. A laboratóriumi előkészítését **Simon Miklós** vezetésével az Útügyi Kutató Intézet laboratóriuma segítette, míg a megvalósítást **Gärtner László** irányította.

2. kép MARINI 70 P E-180 tip. keverőgép

3. Olajálló aszfalt

A Betonútépítő Vállalat a Salviacim technológiát adaptálva olajálló aszfalt néven 1979-ben az M-3 autópálya gödöllői üzemmérnökségi telepén, 1986-ban az M-1 autópálya üzemmérnökségi telepén térburkolatot épített. Ennek a technológiának lényege az, hogy először elkészül egy 4 cm vastag drén aszfalt réteg, majd erre kerül egy polimerrel javított cementhabarcs, melyet bevibrálnak a drén aszfalt hézagaiba legalább 2 cm vastagságban. A habarcs bevonja az aszfalt felületét, de megmarad a mozaikos felület (3. kép). A laboratóriumi előkísérleteket, a gyártást és az építést **Jencs Árpád** irányította.

Az olajálló aszfalt összetétele 1979-ben:

drén aszfalt:

B-45 bitumen	4%
mészkőliszt	7%
veresegyházi homok	8%
NZ 12/20	85%

A drén aszfalt M-160 E-250C MARINI keverőgépen keverve.

cementhabarcs:

veresegyházi homok	44%
350-es cement	24%
poli-vinil-acetát	12% (osztrák WEGOPASS D 40-G termék)
víz	20%

Habarcsadagolás és keverés mixer gépkocsival.

Az olajálló aszfalt összetétele 1986-ban:

drén aszfalt:

SZB-50 bitumen	3,5%
mészkőliszt	2%
bodméri homok	8%
gánti NZ 12/20	90%

A drén aszfalt M-160 E-250C MARINI keverőgépen keverve.

cementhabarcs:

bodméri homok	46%
350-es cement	23%
BARRA emulzió	11% (a MEYNADIER osztrák cég akrilát polimer termékét a KEMIKÁL gyártotta)
víz	20%

A habarcs ELBA-15 tip. betonkeverőgépen keverve és mixer gépkocsival kiszállítva.

3. kép

A gyártást megelőzően a cementhabarcsból 4x4x16 cm-es próbatestek készültek többféle polimerrel, többféle összetétellel. A próbatestek testsűrűségét, hajlító-húzó- és nyomószilárdságát, valamint olajállóságát vizsgálták. Ennek alapján határozták meg a cementhabarcs összetételét, illetve választották ki a legmegfelelőbb polimert. A burkolatok nem voltak hosszú élettartamúak, több év után át kellett azokat építeni.

4. MARYFALT kopóréteg család

A MARYFALT kopóréteg családot 1986-ban intenzív laboratóriumi munkával fejlesztették ki a Betonútépítő Vállalatnál, melyet szabadalmaztattak. Feltalálói Keleti Imre, Jencs Árpád és Pallay Tibor voltak. A szemkihagyásos felépítésű, zúzalékdús és nagy kötőanyag-tartalmú aszfalt nagy fáradási szilárdságú, magas hőmérsékleten is kellően merev, alacsony hőmérsékleten kellően rugalmas, tartósan nagy csúszósurlódási értékű, vékony rétegben is építhető kopóréteg család. Gyökere a német zúzalékdús masztix aszfalt (SMA, splitt mastix asphalt) A szakirodalmi publikációkat tanulmányozva Jencs Árpád felismerte, hogy ennél a német koncepciónál maradva a francia Screg cég is kifejlesztette a Mediflex, az angol Dunlop cég pedig a Delugrip nevű aszfaltokat, melyeket szabadalmaztattak. Ez a felismerés alapozta azt meg, hogy a magyar MARYFALT megszülessen, mely ráadásul mindháromnál több keverék választékot fogalmaz meg. A németek és az említett cégek is, hogy a relatíve sok bitumen a keverékben maradjon, polietilén fóliába csomagolt azbeszt vagy cellulóz vagdalékot adagoltak a keverékbe, melyeket additívnak neveztek.

A MARYFALT kopóréteg családnak öt tagja van: MARYFALT 4; 8; 12; 16 és 20. A keverékek 4; 8; 12; 16 és 20 mm maximális szemcsemérettel készültek, és ennek függvényében 10–60 mm tömör vastagságban építették, melyek tömörítése acélköpenyes hengerekkel történt. Az építések 1987-ben kezdődtek. A MARYFALT ásványi vázának megépült példái az alábbiak voltak:

1.TH 0/1	2.TH 0/1	3.TH 0/1	4.dolomit NZ 0/3
bazalt NZ 5/12	bazalt NZ 5/12	bazalt NZ 5/12	dolomit NZ 5/12
kohósalak NZ 5/12	dolomit NZ 5/12	mészkő NZ 5/12	bazalt NZ 5/12
5.kvarc ZH 0/4	6.kvarc ZH 0/4	7.kvarc ZH 0/4	
bazalt UKZ 2/5	kvarc ZK 4/8	kvarc ZK 4/8	
bazalt UKZ 5/8	bazalt KZ 8/12	andezit NZ 12/20	
andezit UKZ 8/12	andezit KZ 12/16		

A 2 mm és a maximális szemcseméret közti tartomány eltérő kopószilárdságú és polírozódási értékű zúzalék célszerűen megválasztott keveréke, mely megfelelően nagy makroérdességet és tartós csúszásellenállást biztosít. Szemszerkezeti felépítése a splitt mastix asphalt elvét követi. A keverék szemkihagyásos felépítése következtében nagy hézagtartalom érhető el az ásványi anyag szerkezetében, ami lehetővé teszi a nagyobb kötőanyag bevitelét a keverékbe.

A keverékben 8-féle bitument használtak: B-50, B-65, B-90, 3-féle elasztomerrel és 2-féle plasztomerrel modifikált fajtákat. Az alkalmazott habarcsképző anyagot (additív) tamponnak keresztelték el. 34-féle anyagot próbáltak ki, 8-féle anyag labor körülmények között megfelelt, 6-féle anyag nagyüzemű gyártásban, míg 4-féle tampon nagyobb mennyiségben beépítésre került. Ezek az anyagok ipari vagy mezőgazdasági hulladékok, melléktermékek, állandó minőségűek, a keverékbe pontosan mérlegelve adagolhatóak. Az 1987-ben történt első nagyüzemi gyártás és finiseres beépítés összetétele az alábbi volt:

11%	dorogi mészkőliszt
8%	NH 0/1 bodméri természetes kvarchomok
26%	NZ 5/12 nagyharsányi mészkőzúzalék
54%	NZ 5/12 uzsabányai bazaltzúzalék
1%	rizshéj
6,5%	SzB-90 bitumen

Az üdülőtelepi út ma is kifogástalan állapotú.

Egy másik építés összetétele:

MARYFALT-20 (MF-20) aszfalt kopóréteg készült 1989. szeptemberben, átlag 4,8 cm vastagságban, bitumenemulziós alápermetezéssel, a 6.sz. fkl. út 54+870 – 56+370 km sz. között.

bitumen SzB-50	6,5%
beremendi mészkőliszt	10,0%
hegyeshalmi ZH 0/4	17,0%
hegyeshalmi ZK 4/10	10.0%
komlói NZ 12/20	62.0%
gumipor	1.0%

A tamponok és a keverékek tervezését a vállalat központi laboratóriumában végezték el **Jencs Árpád** irányításával, aki a gyártást és a beépítést is felügyelte országosan.

5. ZHAB-4 vékonyaszfalt kopóréteg

A Betonútépítő Vállalat szabadalmaztatott (feltaláló: Kelemen Attila), 4 mm névleges maximális szemnagyságú, 2–3 cm rétegvastagságban építhető, szükség szerint azonban 2–5 cm vastagságban is hagyományos hengerelt aszfalttechnológiával jól beépíthető mikroérdes felületű kopóréteget. Az első nagyüzemi kísérleti szakasz 1987-ben épült a 4.sz.fkl.út 42,3–43,5 km sz. szelvények között (4. kép).

Alkalmazási terület:

- Megfelelő teherbírású közutak további felületbomlásainak: hámlás, kopás, erős zúzalék kipergés, keréknyomvályú képződés megakadályozására.
- Csúszós felületek csúszósúrlódásának növelésére.
- Új pályaszerkezet építés, illetve megerősítés kiegyenlítő, kötő- vagy kopórétegként.
- Térburkolatok, parkolók, sportpályák, telepi belső utak építésekor vagy felújításakor.
- Városi szakaszokon, ahol magassági kötöttségek miatt nincs lehetőség a korábbi burkolatszint nagyobb mértékű emelésére.
- Kerékpárutak és járdák burkolataként.
- Kisforgalmú, városi, mezőgazdasági, erdőgazdasági utak pályaszerkezetének építésénél a bukolatalap lezárására.
- Minden olyan burkolatfelújításkor, amikor vékony vagy változó vastagságú kiegyenlítő réteg építésére van szükség.

Összetételi jellemzők

Az ásványi váz 100%-ban zúzott, „A” kőzetfizikai csoportú anyagból áll, melynek polírozódási értéke PKS= 0,54, tehát kiváló. A 100% zúzotthomok tartalom mellett a keverék mészkőlisztet is tartalmaz, szemeloszlása folytonos, aszfaltbeton rendszerű. A finom szemszerkezet következtében a kötőanyag mennyisége 7%-ot is meghaladhatja. Használtak SZB-90; B-65; SZB-50 és modifikált bitument.

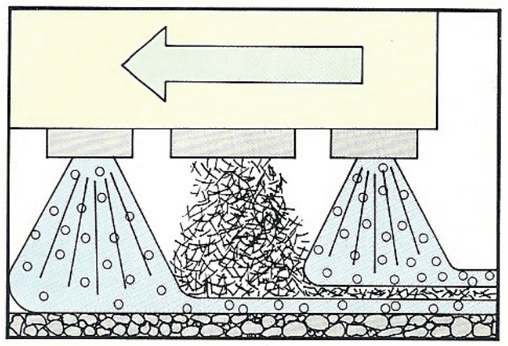
Felületi tulajdonságok

A mikroérdes felületű burkolat szárazon és nedvesen hosszú évekig magas csúszásellenállású. A gépkocsik fékútja rövidebb, a balesetveszély kisebb. A mikroérdes felületnek köszönhető, hogy a gépkocsik utáni vízködképződés kicsi. SRT súrlódási értéke 68. SFT oldalirányú súrlódási tényezője 0,7 érték feletti SCRIM mérőkocsival mérve. A KÖTUKI CS-130 mérőkocsival 80 km/ó sebességgel mért fcs értéke 0,35 feletti, mely jobb az AB-típusú kopórétegekre jellemző értékeknél. A járművek által keltett zajhatás kedvezően alacsony.

4. kép

6.FIBRE-DEC üvegszál erősítésű felületi bevonat

A FIBRE-DEC üvegszállal erősített bitumenemulziós felületi bevonat, amelyet erre a célra kifejlesztett kettős szóróhíddal felszerelt kötőanyag szóró gép készít (5. kép). A szórógép a bevonandó felületen végighaladva egyidejűleg szór ki két fúvókasor segítségével előre meghatározott mennyiségű bitumenemulziót, és közé egyforma hosszúságúra aprított 3 vagy 6 cm hosszú elemi üvegszálat. A bevonandó felületen így üvegszállal erősített, egyenletes vastagságú kötőanyagréteg alakul ki, amely zúzalékszóró géppel szűk frakciójú, 5-16 kg/m^2 mennyiségű zúzottkő ráterítése és behengerlése, továbbá az emulzió megtörése után, tartós, járható felületi bevonatot képez. Az üvegszálakból egy hálót képező réteg jön létre (3. ábra), mellyel az üvegszál nélküli bevonatokkal szemben a húzószilárdság egy nagyságrenddel növekszik. Emiatt ez a fajtájú felületi bevonat nemcsak régi burkolat felett, hanem mint feszültségelnyelő membrán (SAM-réteg) is jól alkalmazható. A két gépből álló géplánc 0,2–3,8 m között bármilyen szélességben egy menetben folyamatosan készíti a bevonatokat. Szabálytalan felületeken foltozásos javítások kézi ládzsa segítségével végezhetők (6. kép). A bevonatot 1991-től a Betonútépítő



3. ábra

Nemzetközi Építőipari Rt. építette. A technológiát angol szabadalmak védték, a vállalat megvette, melyet **Keleti Imre** szorgalmazott. A technológiát központilag **Gärtner László** felügyelte, a kivitelezés munkahelyi szintre került.

Alkalmazási terület (4. ábra)

A bevonat jellemzői

A FIBRE-DEC (FD) bevonat alapanyagai: szűk frakciójú AA-CC UKZ minőségű zúzottkő; legalább 60% hagyományos vagy modifikált bitument tartalmazó, gyorsan törő, kationaktív bitumen emulzió; az angol COLAS ROAD Ltd. által szállított vagy jóváhagyott üvegszál. AZ FD bevonat csak olyan, megfelelő teherbírású pályaszerkezetre fektethető, amelyen kitöredezések, kátyúk nincsenek. Kitöredezett, kátyús felületű, de megfelelő teherbírású pályaszerkezeteket a bevonat készítése előtt legalább két héttel, ha a napi átlaghőmérséklet 12°C-nál kisebb, célszerű négy héttel hideg vagy meleg fenntartási eljárással ki kell javítani. Keréknyomos pályaszerkezetre az FD bevonat közvetlenül csak akkor fektethető, ha a nyomvályú mélysége 15 mm-nél nem nagyobb. A 15 mm-t meghaladó mélységű keréknyomokat hideg vagy meleg fenntartási eljárással ki kell egyenlíteni legalább két héttel a bevonat készítése előtt. Az FD bevonatok egy vagy két rétegben, továbbá ún. szendvics szerkezettel (egyrétegű kettős zúzalékolású építési mód) készíthetők. A kész bevonat az időjárástól függően 2-4 óra múlva átadható a forgalomnak 40 km/ó sebességkorlátozás előírásával.

ALKALMAZÁS	Típusjel	Réteg	Kötőanyag kg/m^2	Zúzottkő	
				kg/m^2	mérete
Nagyforgalmú utakon	FD2	felső réteg alsó réteg	1,2–1,4 1,4–1,8	6–10 10–15 (7–11)	5/8 12/16 (8/12)
Kisforgalmú utakon	FD1	egyrétegű	1,4–1,8	11–16 (8–12)	12/16 (8/12)
Bitumendús, lágy aszfaltburkolatú utakon	FDZ	felső réteg alsó réteg	1,4–2,0 –	8–12 (6–10) 11–16 (8–12)	8/12 (5/8) 12/16 (8/12)
Merev pályákon és nagyon kemény aszfaltutakon	FD2	felső réteg alsó réteg	1,4–1,8 1,2–1,4	7–11 6–10	8/12 5/8
Makadám utakon	FD2	felső réteg alsó réteg	1,2–1,4 1,4–1,8	6–10 7–11	5/8 8/12
Kerékpár- és gyalogutakon	FD1	egyrétegű	1,3–1,6	5–9 (6–10)	2/5 (5/8)
Feszültségelnyelő (SAMI) rétegként	FDS	egyrétegű	1,6–2,6	5–10 (8–12)	5/8 (8/12)

4. ábra

5. kép

7. Habosított bitumenes technológia

Habosított bitumenes technológia lényege

A habosított bitumen alapja a sokak által régóta ismert tény, hogy a forró bitumen kis mennyiségű víz hatására habzik. A habosított bitumen elődje egy találmány, Csányi professzoré, amely szerint forró bitumenből vízgőz segítségével készített habot. Csányi (valószínűleg magyar származású) professzor az Egyesült Államokbeli Iowa egyetemről az ötvenes években számos laboratóriumi kísérletet és építést végzett habosított bitumennel.

A 70-es évek elején a habosított bitumennel kapcsolatosan új találmány született Ausztráliában, az USA központú MOBIL olajtársaság jóvoltából. A találmány címe: Módszer és berendezés habosított anyagok előállításához. A találmány tárgya: Módszer és berendezés hab készítésére, amely könnyen keverhető hideg, nedves adalékanyagokkal, illetve talajokkal, valamint módszer és berendezés arra, hogy bevonatok készüljenek. A hab készítésének a módszere olyan, hogy a hab és az adalékanyag arány pontosan beállítható. A bitumenhabosítás egy megfelelő méretű kamrában jön létre, ahol a bitumen találkozik a vízzel. A bitumen a fajtájától függő hőfokon (általában 150–180°C) megfelelő nyomással, megfelelő nyíláson keresztül, a víz pedig hidegen, kis mennyiségben (bitumen 2–5%-a) szintén megfelelő nyomással és megfelelő nyíláson keresztül jut be a kamrába. A víz gőzzé alakul és a rákövetkező expanzió a bitumen habo-

6. kép

sodását okozza. A habosított bitumen térfogata az eredeti bitumenének legalább a tízszerese.

A habosított bitumenes technológia számos országban elterjedt, így említésre méltó: Ausztrália, Dél-Afrika, Franciaország, India, Kanada, Mexikó, Norvégia, UK, USA. Elterjedését legfőképpen két sajátosság illetve előny indokolta. Az egyik előny, hogy az adalékanyagot nem kell felmelegíteni, kiszárítani, a másik, hogy adalékanyagként egyébként alkalmatlan anyagokat is fel lehet használni. A habosított bitumenes technológiának három eljárása alakult ki, úgymint: a permetezéses, neve: FOAMSPRAY, a helyszíni stabilizációs, neve: FOAMSTAB, a keveréses, neve: FOAMIX.

FOAMSPRAY

A Foamspray eljárás nem más, mint habosított bitumennel készített felületi bevonat. Az eljárás szerint kialakított permetezőgéppel 10–20 mm-es habosított bitumenréteget hordanak fel az útfelületre, amely 1–2 mm-es bitumenréteggé esik össze, és még mielőtt ez a teljes összeroskadás bekövetkezne, zúzottkövet terítenek rá.

FOAMSTAB

Az eljárás vezérgépe olyan traktor típusú marógép, amelynek maró-keverő terébe habosított bitumen bepermetező rendszert alakítottak ki a szükséges vezérlő automatikával. Több gépgyártónak (BOMAG, CATERPILLAR, WIRTGEN) van ilyen marógépe. Az angol tapasztalatok szerint a BOMAG marók keverőterében a habosított bitumen szóróhídja úgy helyezhető el, hogy a kötőanyag a felfelé mozgó-repülő ásványanyaggal találkozzék. A gépen víztartály is van a habosító víz tárolására és adagolására.

A marógépet vonórúd segítségével összekapcsolják a bitumenes tartálykocsival, a habosított bitumen bekeverési munkafázisában. A tartálykocsiból min. 150°C-os bitument adagolnak a keverőtérbe megfelelő csőrendszeren keresztül a marógépben elhelyezett szivattyú segítségével.

A marógép nem csak talaj, hanem útpályaszerkezetek felmarására is alkalmas. A Foamstab eljárás legfontosabb alkalmazási területe éppen a meglévő, elöregedett makadám jellegű szerkezetek helyszíni újrafelhasználása. Emellett természetesen talajok helyszíni stabilizálására is használható.

FOAMIX

Az eljárás olyan habosított bitumenes keverék előállítása, amellyel adalékanyagot összekeverünk habosított bitumennel. A keverőgép lehet kényszerkeverő, szakaszos vagy folytonos, beton-, illetve aszfaltkeverő. A keverőtelepen forró bitumen tartályra, víztartályra és az anyagok adagolásához, keveréséhez, illetve a habosított bitumen előállításához szükséges permetező, adagoló és keverő rendszerre van szükség. Az eljáráshoz alapanyagként számos anyag (helyi anyag, meddő, egyébként alkalmatlannak tartott anyag vagy nemes anyag) használható fel a továbbiakban részletezett megfontolások szerint. Kötőanyagként a hazai viszonyok között általában a 80-as penetrációjú bitumen alkalmazható. A keverék útalapként és kisebb forgalmi igénybevételű úton felületi bevonattal kopórétegként építhető.

Tapasztalatok és összefüggések

A habosított bitumen mind a Foamstab, mind a Foamix eljárásnál kötőanyag, ezért ennek az egyenletes elkeveredése éppen olyan fontos, mint a melegaszfaltoknál. Ezt hatékony keveréssel kell biztosítani. A viszonylag kis bitumenmennyiség hatásos elkeveredését az is segíti, hogy a bitumen eredeti térfogatának 10–15-szörösét kitevő habbá alakul. A hideg, tapasztalatok szerint legalább 3% nedvességtartalmú adalékanyaghoz a nagymértékben megnövekedett térfogatú és lecsökkent viszkozitású bitumen megdöbbentően jó tapadási tulajdonságokat mutat. A hab tartósságát habképző adalékszerrel lehet növelni. 0,5–1,0% mészhidrát adagolása növeli a bitumen tapadását az adalékanyaghoz és több nedvesség tűrhető meg a keverékben. Ha korai magasabb szilárdságra van szükség, akkor ezen 1% cementadagolás segíthet. A habosított bitumen a hideg, nedves ásványi anyaghoz keverve, annak finom szemcséivel habarcsot képez, de a durvább szemcséket nem vonja be. A habarcs a friss keverékben nem képez összefüggő fázist. A hideg keverék azonnal, de egy-két hetes tárolás után is beépíthető. A beépített keverék tömörítés után, célszerűen felületi zárással ellátva, azonnal forgalomba helyezhető, víztartalma ellenére a forgalmi igénybevétel lényegesen nem deformálja. Víztartalmát a réteg fokozatosan veszíti el, miközben stabilitása növekszik a vízmozgás hatására végbemenő kötőanyag átrendeződés következményeként. A kezdeti alacsonyabb stabilitás miatt a rétegből fúrt mintát kivenni nem lehet.

Foamix és Foamstab tervezése

Mindkét eljárás tervezésénél az alapvető megfontolás azonos. Az adalékanyagokat háromféle csoportba sorolják (5. ábra), „A”, „B” és „C” anyagot definiálnak. Amennyiben a rendelkezésre álló adalékanyag szemmegoszlása az „A” mezőbe esik, akkor az anyag ideális, a bitumentartalmat a 6. ábra szerint határozzák meg. Az „A” anyag határgörbéje a hazai JU-35-höz hasonló. A 80-as években főleg Angliában és Kanadában rengeteg laboratóriumi és építési kísérletet végeztek az alapvető összefüggések feltárására, és a habosított bitumenes technológiának megfeleltetésére a korábban ismert technológiákkal.

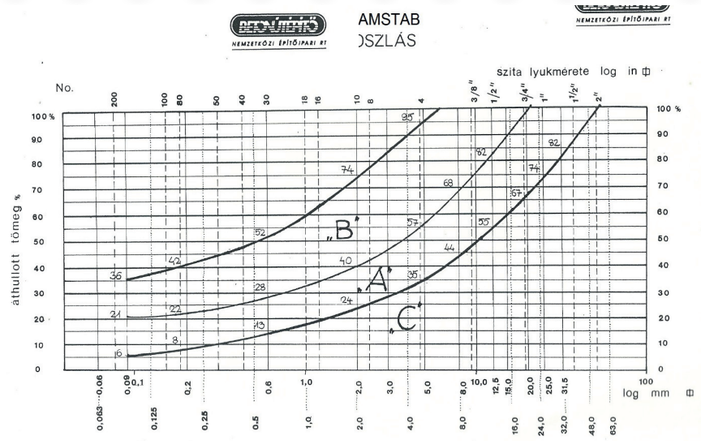
A mennyiben a rendelkezésre álló adalékanyag szemmegoszlása a „B” mezőbe esik, az anyag szintén felhasználható, próbakeverésre feltétlenül szükség van, általában 1%-nyi mészhidrát adagolandó, a bitumentartalom megállapítása a 6. ábra szerint történik.

Amennyiben a rendelkezésre álló adalékanyag szemmegoszlása a „C” mezőbe esik, az anyag szemmegoszlását finom anyag hozzáadagolásával javítani kell úgy, hogy az új szemmegoszlás lehetőség szerint a „A” mezőbe essék. Az előzőekből kitűnik az, hogy a Foamix és Foamstab eljárásoknak az az előnye, hogy a keverékhez az egyébként alkalmatlannak tartott anyagok is felhasználhatók, és hideg eljárással újrahasznosíthatók az elöregedett burkolati rétegek. Ezek a rétegek a meleg aszfalttal egyenértékűek.

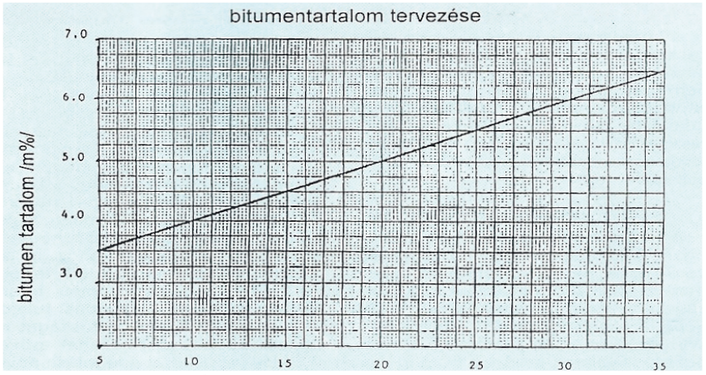
Mindkét eljárásnál a keverék akkor tömöríthető a legkedvezőbben, ha a nedvességtartalma és a benne lévő kötőanyag együttes mennyisége közel egyenlő vagy inkább 2%-kal kevesebb az ásványi keverékének Proctor-féle optimális víztartalmának. A nedvesség miatt az építést esőben, vagy +5°C alatt nem lehet végezni.

Tapasztalatok a Betonútépítő Nemzetközi Rt-nél

1990-ben licence szerződést kötöttek a Mobil Oil Co.-val a habosított bitumenes technológia hasznosítására, alkalmazására. 1995. évben elindították a Foamix technológiát. Eredetileg hidegaszfaltra konstruált Marini folytonkeverőt tettek alkalmassá Sáp községben a technológiára. Két kísérleti gyártás és építés összetételét a 7. és 8. ábra mutatja be. Az előkészítésnél fontos volt megtervezni a megfelelő pályaszerkezetet. Alaposan meg kellett vizsgálni a felhasználandó anyagok tulajdonságait, gyártás előtt fontos volt a keverőgép pontos beállítása, kalibrálása. A réteg tömörségét radiometriás, homokszórós, gumimembrános módszerrel állapították meg. A technológia honosítását **Keleti Imre, Gärtner László** és **Jencs Árpád** végezték el.



5. ábra



6. ábra: 0,075 mm-es szitán átesett anyag /m%/

Foamix-keverék
községi lakóutcák pályaszerkezetéhez

Összetétel:

ártándi homokos kavics	91,5 m%
mészkőliszt	4,5 m%
bitumen (B 80)	4,0 m%

Keverékvizsgálat eredményei:

bitumentartalom	3,6–4,4, m%
ásványi váz szemeloszlása:	
0,09 mm-en áteső	5,5–6,4 m%
0,2 mm-en áteső	7,9–9,6 m%
0,6 mm-en áteső	25,9–31,7 m%
2 mm-en áteső	39,2–51,2 m%
5 mm-en áteső	52,2–67,8 m%
8 mm-en áteső	57,5–75,1 m%
12,5 mm-en áteső	69,2–85,7 m%
20 mm-en áteső	84,8–94,8 m%
25 mm-en áteső	95,5–98,5 m%
31 mm-en áteső	100 m%
Marshall-stabilitás 60 °C-on 72 órás 60 °C-os száraz és 24 órás víz alatti temperálás után	0,9–1,3 kN

7. ábra

Foamix-keverék
a 42. sz. főút szélesítéséhez felső alaprétegként

Összetétel:

ártándi homokos kavics	62,4 m%
nyékládházi zúzott kavics ZK 5/12	14,4 m%
tállyai zúzotthomok ÚZ 0/5	16,3 m%
cement	2,9 m%
bitumen (B 80)	4,0 m%

Keverék vizsgálati eredményei (4 mintából):

bitumentartalom	3,5–4,3 m%
ásványi váz szemeloszlása:	
0,09 mm-en áteső	4,6–5,7 m%
0,2 mm-en áteső	6,2–7,6 m%
0,6 mm-en áteső	25,0–31,5 m%
2 mm-en áteső	35,5–48,2 m%
5 mm-en áteső	51,3–61,8 m%
8 mm-en áteső	59,5–74,5 m%
12,5 mm-en áteső	73,2–85,7 m%
20 mm-en áteső	88,6–96,5 m%
25 mm-en áteső	93,5–98,0 m%
31 mm-en áteső	100 m%
Marshall-stabilitás 60 °C-on 72 órás 60 °C-os száraz és 24 órás víz alatti temperálás után	7,5–9,5 kN

8. ábra

Összefoglalás

Fentiekben a korábbi két évtizedben megvalósított hét Betonútépítős fejlesztésre emlékezve, igyekeztem azokat röviden összefoglalni, és konkrét összetételeket is közölni. Ezek az aszfaltos technológiák országosan elsőként (drén aszfalt), vagy egyedüliként a Betonútépítőhöz kötődtek. A „150 éves a magyar aszfaltútépítés” I. kötetében írt néhány pontatlanságot is igyekeztem pontosítani. Bízom benne, hogy nem volt hiába való mindezeket leírni.

CANADER-mix

-10°C-ig bedolgozható hidegaszfalt keverék

ASZFALT BURKOLATOK, KÁTYÚK JAVÍTÁSÁRA HASZNÁLHATÓ SPECIÁLIS HIDEG ASZFALT KEVERÉK

- ✓ KANADÁBAN KIFEJLESZTETT SPECIÁLIS KÖTŐANYAG
- ✓ BÁRMILYEN IDŐJÁRÁSI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT BEDOLGOZHATÓ (-10°C-TÓL AKÁR A LEGFORRÓBB NYARAKIG)
- ✓ KIVÁLÓ MINŐSÉGŰ ÉS TARTÓS JAVÍTÁS
- ✓ MARÁS, VÁGÁS VAGY MELEGÍTÉS NÉLKÜL
- ✓ MINIMÁLIS MUNKARÁFORDÍTÁS
- ✓ LEGKISEBB MUNKA ÉS IDŐ BEFEKTETÉSÉVEL AZ EGYIK LEGHATÉKONYABB MEGOLDÁS A KÁTYÚK HELYREÁLLÍTÁSÁRA
- ✓ A FORGALOMNAK AZONNAL ÁTADHATÓ

CANADER-MIX EGYSZERŰ HASZNÁLAT

ELŐKÉSZÍTÉS	BELETÖLTÉS	TÖMÖRÍTÉS	MEHET A FORGALOM
Távolítsunk el mindent töredezett részt, törmeléket	Szórjuk bele a CANADER-t a kátyúba	Döngöljük be kézi, vagy gépi döngölővel	Azonnal átadható

A CANADER-MIX egy Kanadában kifejlesztett speciális kötőanyaggal megkevert hidegaszfalt kátyúzó keverék. A CANADER-MIX hidegaszfalt válogatott alapanyagokból készül. A PENTA Kft. kizárólag eruptív (vulkanikus eredetű) kővázat használ, illetve a speciális kötőanyag miatt ez a hidegaszfalt bármely forgalomra alkalmas speciális kötőanyagú keverék. A speciális összetételnek köszönhetően a CANADER nagyon könnyen kezelhető bármely időjárási körülmények között. Mindenféle kellősítés nélkül kiváló, vízzáró kötést biztosít a kátyú alsó burkolata, fala és a javítóanyag között. A zsákos CANADER hidegaszfalt hosszú távú tárolhatóságot biztosít, így bármikor rendelkezésre áll és felhasználható.
A Penta Kft. illetve a CANADER hidegaszfalt szabadalom és annak gyártástechnológiája nem ismer kompromisszumot a kimagasló minőség és a keverés során alkalmazott üzemi gyártásellenőrzési kontroll terén.

Penta Általános Építőipari Kft.
Aszfaltkeverő Üzem
H- 2131 Göd, Nemeskéri- Kiss Miklós út 112.

Tel: +36 27 336 520 **Mobil: +36 30 627 6642**
E-mail: termeles@pentakft.hu, aszfalt@pentakft.hu
Honlap: www.pentakft.hu

Wirtgen Group: Recycling teljes mélységben

Az USA-ban egy Wirtgen recycling berendezés félpályás lezárás mellett, 20 cm mélységben végezte el egy autópálya sáv felújítását. A feladat során a Wirtgen új W 380 CRi recyclere bebizonyította nagyfokú produktivitását.

Ennek az első teljes mélységű (FDR) recycling felújításnak, amelyre a dél-karolinai Department of Transportation megbízásából került sor, a Pickens County-ban található 123. sz. négysávos autópálya volt a helyszíne. A 11 km hosszú felújítási munkát az tette már égetően szükségessé, hogy naponta több mint 20 ezer gépjármű, -amelynek 15%-a tehergépjármű - használja.

Sávszélesítés a felújítás közben

A felújítási munkák során a közlekedési sáv szélesítésére is sor került (4,4 m). „Ehhez előzetesen 60 cm szélességben a belső sávot is fel kellett marni, amely a belső sávot határolja.” nyilatkozta Mike Crenshaw a munkával megbízott King Asphalt Inc. elnöke a dél-karolinai Libertyből. Ehhez a munkához két Wirtgen hidegmarót használtak. Csak az elvégzett, így előkészített munka után kapott főszerepet a Wirtgen W 380 CRi hideg recycling berendezés. A lánctalpas hideg recycler a sérült felületet egy munkamenetben 3,8 méter szélességben és 20 cm mélységben marta fel, miközben az anyagot granulálta és 2,3 % habosított bitumennel, 3-4 % vízzel, és az előre kiszórt 1 % cementtel keverte össze.

Kötőanyaggal stabilizálva, időtállóan

„Ennél az FDR eljárásnál, melynek során habosított bitumennel történik az újrahasznosított réteg stabilizálása, megerősítésre kerül a komplett alsó tartóréteg, amely így ismét sikeresen áll ellen a folyamatos terhelésnek évtizedeken keresztül." magyarázta Mark Stahl az Észak-Amerikai Wirtgen Group Recycling termékekért felelős igazgatója.

Tökéletesen pontos recept

Meghatározó volt ennél a munkánál a keverék összetétele is. Az adalékanyagok mennyiségét előre meg kellett határozni, amely munkában a Wirtgen laborberendezései – a WLB 10 S habosított bitumen laborberendezése és a WLM 30 laborkeverő berendezése – játszottak főszerepet. Előzetesen 6 különböző anyagmintán végeztek vizsgálatot, hogy a projekt optimális keverékösszetétele definiálásra kerülhessen. A strukturális helyreállítás végére a nagyteljesítményű W 380 CRi a megfelelő receptúra alkalmazásával több, mint 102.000 tonna aszfaltot hasznosított újra, környezetbarát módon és magas minőségben. Mike Crenshaw az óránkénti 427 tonnás recycling teljesítményt látva, elégedetten nyilatkozta: „Fantasztikus módon működik a technológia, nem ismerek egyetlen ehhez fogható berendezést sem, amely minden percben több, mint 7 tonna anyagot szállított a kihordószalagon."

Variálható beépítési szélesség útfelújítás közben

A W 380 CRi alkalmas a gép elérhető marási szélességeit meghaladó útfelületek felújítására is. A W 380 CRi marási szélességei: 3,2 m; 3,5 m; 3,8 m Ebben az esetben egy hidegmarógép által a munkaterület oldalán előre felmart anyagot a recycler felszedi és összedolgozza az általa felmart és átkevert anyaggal. A 800 tonna/órás keverőkapacitásnak köszönhetően - egy hátsó kihordószalaggal kombinálva - a W 380 CRi képes, egy mögötte haladó Vögele aszfaltterítőgépet az általa felmart és összekevert anyaggal ellátni, amely finiser ezt az anyagot tetszőleges szélességben, szintvezérléssel építi be.

Adu ász a sokrétűség

Mike Crenshaw egy jelentős pluszként értékeli az új W 380 CRi sokrétű felhasználási lehetőségeit: „A gép hidegmaróként is képes dolgozni, ami egy nagyon nagy előnye. Agép átépítése nem vesz igénybe 2 óránál többet."

3D aszfalterősítési technológia alkalmazása a 3-as főúton

Skovrankó Ernő

okl. építőmérnök,
laboratóriumvezető főmérnök
HE-DO Kft.

Varga Zoltán

ügyvezető EXTERNAL Zrt.

Bevezető

A Magyar Közút Nonprofit Zrt. három évvel ezelőtt Kísérleti Út- és Hídépítési Programot hirdetett meg. A program célja, hogy a mindenkori legkorszerűbb anyagok és technológiák segítsék a biztonságos közlekedést a hazai utakon. A program keretében lehetőség nyílt közútépítésben vagy fenntartásban korábban nem alkalmazott 3D építési technológia minősített körülmények között történő kipróbálására.

A program keretében egy innovatív, nemzetközileg már elismert 3D aszfalterősítési technológiát próbáltunk ki a 3. sz. főút 114+932-115+632 km közötti szakaszán.
A kísérleti munka részvevői voltak:
- MK Heves Megyei Igazgatósága (Megrendelő)
- HE-DO Útépítő, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. (Kivitelező)
- FORTA® Corporation (EXTERNAL Zrt. forgalmazó)

A szálerősítéses technológia lényege, hogy az aszfalthoz 19 mm hosszúságú, nagy szakítószilárdságú szintetikus szálakat kell keverni, amelyek javítják az aszfalt tulajdonságait, csökkentik az aszfalt kerék nyomvályúsodási hajlamát és a repedések kialakulását. A 3-as főúton 200 m hosszúságban cseréltünk kötő- és kopó-, illetve 500 méteren csak kopóréteget ennek a technológiának az alkalmazásával. A következő 5 évben időszakos helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokat végezünk a 3D technológia alkalmazhatóságának igazolására.

3D technológiáról röviden

A FORTA® Corporation, a világ egyik vezető vállalata a beton és aszfalt szálerősítési technológiák terén. A FORTA-FI® nagy szakítószilárdságú szintetikus szálak, amelyek az aszfaltkeverékek megerősítésére szolgálnak új építési vagy rehabilitációs projektekben egyaránt. Az aramid és a poliolefin szálakat és azok keverékét úgy tervezték, hogy fokozza, növelje az általánosan használt aszfaltkeverékek tartósságát. Az aramid szálak nem olvadnak meg az aszfaltkeverékben, erősségükről és tartósságukról ismertek akár magas, akár alacsony hőmérsékleten is.
A FORTA-FI® szálak alkalmazása, még a mai szigorú szabványok figyelembevételével is nagymértékű költségmegtakarítást kínál azáltal, hogy jelentősen csökkenti a nyomvályúk és a repedések kialakulását.
A szálerősítésű technológiák jelentősen megnövelik az aszfalt élettartamát, a legújabb kutatások részletesebb információt nyújtottak a FORTA-FI® alkalmazásának előnyeiről. Az Arizonai Állami Egyetem által kidolgozott esettanulmányok megállapították meg a FORTA-FI®-vel az aszfalt-pályaszerkezet élettartam növekedése 50%-kal vagy akár még annál is nagyobb mértékben nőhet.
A FORTA-FI® alkalmazásának a jellemzői:

- minden üzemi hőmérsékleten alkalmazható
- minden keverő típushoz ajánlott
- könnyen adagolható
- teljes és egyenletes az anyag eloszlás
- javítja többek között a szakítószilárdságot, a rugalmassági modulust, a Marshall-stabilitást, keréknyomképződéssel szembeni ellenállást.

1. FORTA-FI adalékanyag

3. sz. főút 114+932-115+632 km bal oldal AC 11 kopó (F) B50/70 +FORTA FI kopóréteg építése

A FORTA FI adalékszerrel készült aszfalt beépítése és az ellenőrző vizsgálatok eredményei

A 3. sz. főút 115+332-115+632 km közötti szakaszon két rétegű burkolat megerősítés készült 6,0 cm AC 16 kötő (F) B50/70 FORTA FI és 4,0 cm AC 11 kopó (F) B50/70 FORTA FI aszfaltkeverékkel, a 114+932-115+332 km szakaszon pedig egy rétegű 4,0 cm AC 11 kopó (F) B50/70 FORTA FI aszfaltkeverékkel történt a burkolat erősítés.

A FORTA FI aramid és a poliolefin szálakkal végzett burkolat megerősítés során a régi, elhasznált, agyon kátyúzott kopóréteget marással eltávolítottuk. Még a marás előtt, majd az aszfaltozás után dinamikus teherbírás mérést végeztünk a Colas Hungária Zrt. Központi Laboratórium bevonásával. Így a két különböző időpontban történt dinamikus teherbírási eredményeket összevetve igazolódott a FORTA FI erősítő szerepe, különösen azért is, mert a régi kopóréteg eltávolításával a pályaszerkezet azon az 500 fm-es szakaszon, ahol csak 4,0 cm kopó réteg épült az aszfalterősítés jellege nem a réteg vastagításában, hanem a beépített réteg minőségében jelentkezett és mutatkozott, amit a dinamikus teherbírási eredmények is igazoltak. A felújítandó aszfalt dinamikus teherbírása 762-1189 Mpa-ról 1189-1826 Mpa-ra növekedett, a 1189 Mpa a kopóréteg cserés helyen mértük, a 1826 Mpa értéket pedig a két rétegű felújításon.

A FORTA FI-vel készült aszfaltkeverékek a HE-DO KFt. abasári telephelyén készültek. Az aszfaltgyártás során vett aszfaltkeverék minták keréknyomképződési vizsgálata a FORTA FI alkalmazása során az AC 11 kopó (F) B50/70-es és AC 16 kötő (F) B50/70-es keveréknél jelentősen javult.

4. A FORTA FI szálak lelógnak a lapát széléről

Minta	Alap keverék PRD $_{AIR}$ (%)	FORTA FI-vel készített keverék PRD AIR (%)
AC 11 kopó (F) B50/70	6,89	4,7
AC 16 kötő (F) B50/70	4,87	3,0

Köztudomású, hogy az AC 11 kopó (F) B50/70-es aszfaltkeverékek keréknyomképződési hajlama magas és igen nehéz olyan aszfaltkeveréket gyártani, ami megfelel az útügyi műszaki előírásoknak.

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

Meleg aszfalkeverék vizsgálati módszerei
Keréknyomképződés
MSZ EN 12697-22:2020

Colas Hungária Zrt. Technológiai Igazgatóság Központi Laboratórium 1032 Budapest Bécsi út 174/c
Budapesti egység 1032 Budapest Bécsi út 174/c
A NAH által NAH-1-1435/2016 számon akkreditált vizsgálólaboratórium.

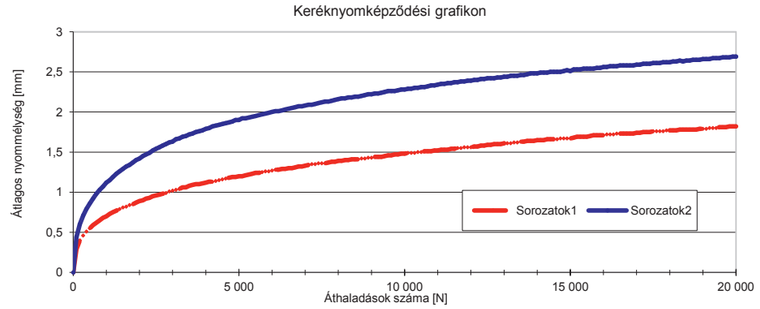
Vevő neve, címe:	**External Hotel Management Zrt.**	Iktatószám:	**KP-A-0172/1/2020**
Kivitelező neve:	**HE-DO Kft**		
Minta megnevezése:	**AC-11 kopó (F) B 50/70 forta Fi**	Vizsgálat ideje:	**2020.10.01**
Mintavétel helye:	**3. számú főút jobb oldal 115+500**	Beérkezés ideje	**2020.08.14**
Minta azonosító:	**AB-A-0428/2020/01/01**	Mintav. ideje:	**2020.08.07**
		Mintát vette:	**Kovács Attila**
Típusvizsg. /származás:	**23**	Oldalszám:	**1/1**

Vizsgálati eszközök megn:

Mintavétel módja:	**MSZ EN 12697-27:2017**	Próbatest töm. módja:	**Hengeres töm.**	Mintakészítés ideje:	**2020.09.28**
Vizsgálati módszer:	**Kiskerekű ber. B elj. lev. vizsg.**	Próbatest tárolása:	**Levegőn**	Próbatest kora:	**3 nap**

Marshall testsűrűség: **2378**
Vizsgálati hőmérséklet (°C): **60**
Kerékterhelés értéke (N): **700**

	1. Minta	2. Minta
Próbatest vastagsága (mm)	**48,2**	**49,3**
Próbatest testsűrűsége (kg/m^3) MSZ EN 12697-6:2012 B eljárás szerint	**2378**	**2378**
$WTS_{AIR\ 1,2}$ [mm/1000 terhelési ciklus]	**0,06**	**0,08**
WTS_{AIR} [mm/1000 terhelési ciklus]	**0,07**	
$RD_{AIR\ 1,2}$ [mm] (10000 terhelési cikluson)	**1,8**	**2,7**
RD_{AIR} [mm] (10000 terhelési cikluson)	**2,3**	
$PRD_{AIR\ 1,2}$ [%] (10000 terhelési cikluson)	**3,8**	**5,5**
PRD_{AIR} [%] (10000 terhelési cikluson)	**4,7**	



Megjegyzés, egyéb információ:

Kelt: Budapest 2020.10.01
Ellenőrizte, és a műszaki tartalmáért felelős(név,beosztás): ---------- **Gonda József laborvezető** **P.H.**

Ez a feljegyzés a laboratórium engedélye nélkül csak teljes terjedelmében másolható. Az eredmények csak a vizsgált mintákra érvényesek! B105 2020.08.01

AC 11 kopó (F) B50/70 + FORTA FI keréknyomképződés vizsgálati jkv.

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

Meleg aszfalkeverék vizsgálati módszerei
Keréknyomképződés
MSZ EN 12697-22:2020

Colas Hungária Zrt. Technológiai Igazgatóság Központi Laboratórium 1032 Budapest Bécsi út 174/c
Budapesti egység 1032 Budapest Bécsi út 174/c
A NAH által NAH-1-1435/2016 számon akkreditált vizsgálólaboratórium.

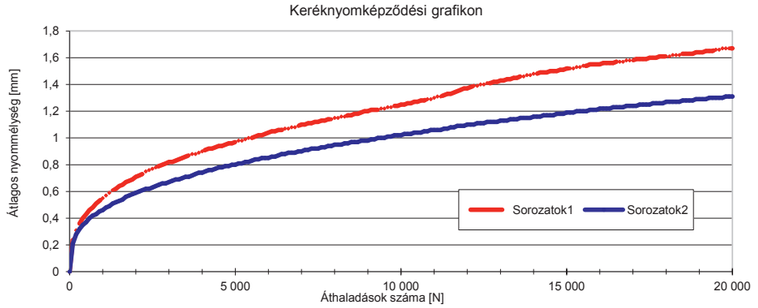
Vevő neve, címe:	**External Hotel Management Zrt.**	Iktatószám:	**KP-A-0172/2/2020**
Kivitelező neve:	**HE-DO Kft**		
Minta megnevezése:	**AC-16 kötő (F) B 50/70 Forta Fi**	Vizsgálat ideje:	**2020.09.30**
Mintavétel helye:	**3. számú főút jobb oldal 115+500**	Beérkezés ideje	**2020.08.14**
Minta azonosító:	**AB-A-0428/2020/01/01**	Mintav. ideje:	**2020.08.07**
		Mintát vette:	**Beke Tamás**
Típusvizsg. /származás:	**10**	Oldalszám:	**1/1**

Vizsgálati eszközök megn:

Mintavétel módja:	**MSZ EN 12697-27:2017**	Próbatest töm. módja:	**Hengeres töm.**	Mintakészítés ideje:	**2020.09.28**
Vizsgálati módszer:	**Kiskerekű ber. B elj. lev. vizsg.**	Próbatest tárolása:	**Levegőn**	Próbatest kora:	**2 nap**

Marshall testsűrűség: **2428**
Vizsgálati hőmérséklet (°C): **60**
Kerékterhelés értéke (N): **700**

	1. Minta	2. Minta
Próbatest vastagsága (mm)	**49,2**	**51,2**
Próbatest testsűrűsége (kg/m^3) MSZ EN 12697-6:2012 B eljárás szerint	**2429**	**2426**
$WTS_{AIR\ 1,2}$ [mm/1000 terhelési ciklus]	**0,08**	**0,06**
WTS_{AIR} [mm/1000 terhelési ciklus]	**0,07**	
$RD_{AIR\ 1,2}$ [mm] (10000 terhelési cikluson)	**1,7**	**1,3**
RD_{AIR} [mm] (10000 terhelési cikluson)	**1,5**	
$PRD_{AIR\ 1,2}$ [%] (10000 terhelési cikluson)	**3,4**	**2,6**
PRD_{AIR} [%] (10000 terhelési cikluson)	**3,0**	



Megjegyzés, egyéb információ:

Kelt: Budapest 2020.09.30
Ellenőrizte, és a műszaki tartalmáért felelős(név,beosztás): ---------- **Gonda József laborvezető** **P.H.**

Ez a feljegyzés a laboratórium engedélye nélkül csak teljes terjedelmében másolható. Az eredmények csak a vizsgált mintákra érvényesek! B105 2020.08.01

AC 16 kötő (F) B50/70 + FORTA FI keréknyomképződés vizsgálati jkv.

Összefoglalás

A 3. sz. főúton a 3D aszfalterősítési technológia alkalmazása sikeresnek bizonyult. A FORTA FI alkalmazása egyértelműen javította a korábbi pályaszerkezet dinamikus teherbírását és kedvezően befolyásolta az aszfalt keverék keréknyomképződési hajlamát.

A kivitelező HE-DO Kft. köszönetet mond a Magyar Közút Nonprofit Zrt.-nek, és a FORTA® Corporation-nek azért, hogy a kísérleti munka a HE-DO Kft. kivitelezésében jöhetett létre.

Gumibitumen alkalmazások a nagyvilágban

A MOL gumibitumen helyzete nemzetközi összehasonlításban

Dr. Almássy Kornél

egyetemi docens,
BME Út és Vasútépítési tanszék

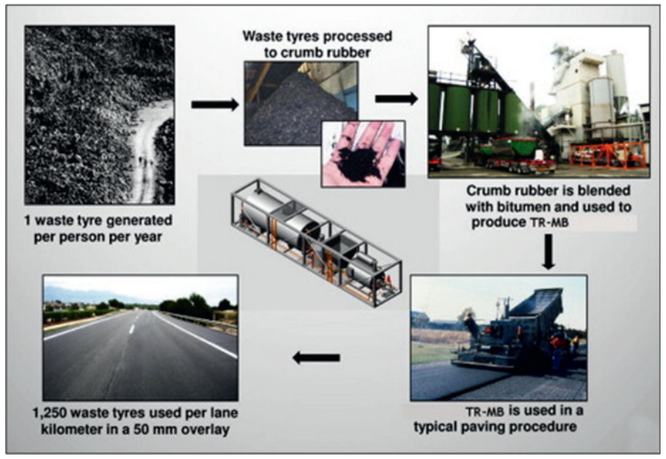
Dr. Geiger András

Kutatás fejlesztési szenior szakértő
MOL NyRT

1. Bevezetés

Magyarország lassan tíz éve ismerkedik a gumibitumenes aszfaltkeverék fogalmával. A gumibitumen szó felkelti a laikusok figyelmét, sok nem szakmabeli is hallott erről a magyar technológiáról, amivel egyfelől el lehet tüntetni a gumiabroncs hulladékot, másfelől kiváló minőségű aszfaltútpályát lehet az alkalmazásával építeni. A gumibitumen technológia azonban nem újdonság, hiszen USA-ban és Európa egyes helyein lassan 50 éve alkalmazzák alapvetően sikeres módon. Az elterjedése mégsem jelentett teljes áttörést az aszfaltiparban, amely talán gyártástechnológiai és mennyiségi problémákra, valamint a változó minőségre vezethető vissza. A magyar fejlesztésű gumibitumen ugyanakkor kiküszöbölte és elfogadható mértékűvé csökkentette a gyártástechnológiai problémákat, mely által olyan gumival modifikált bitumen jött létre, amelynek aszfaltkeverékekben történő alkalmazása a polimerrel modifikált bitumenes aszfaltkeverékek mechanikai tulajdonságaival vetekszik. Az elmúlt években elvégzett több mint biztató eredményeket mutató különböző aszfaltmechanikai vizsgálatok az előző mondatban megfogalmazott állítást támasztották alá. A hazai MOL gumibitumennel készül aszfaltkeverékek az idei évtől megjelennek a gyorsforgalmi hálózaton és nem csak kopóréteg beépítéseknél, hanem kötő és alapréteg alkalmazásnál egyaránt. A mostani cikk publikálásával az a célunk, hogy röviden bemutassuk a gumibitumen nemzetközi alkalmazásának fejlődését, továbbá azt, hogy hol helyezkedik el ebben a nemzetközi térben a Pannon Egyetem és MOL fejlesztésű gumibitumen.

2. Hogy lesz a hulladék gumiabroncsból gumibitumen? A gumibitumen története nagyvonalakban



1.kép: Gumihulladékból gumibitumenes aszfalt keverék az USA-ban – gumihulladék hasznosításának sematikus ábrája [1]

Egy gumiabroncs életciklusa 5 fő állomásra osztható, úgy, mint termék gyártás, értékesítés, használat, használt gumik összegyűjtése és hulladékgazdálkodás.
Amikor hulladék lesz egy gumiból, többféle út van előttünk, amely meghatározza az újrahasznosítás útját. Egyfelől az energia kinyerési céllal történő újrahasznosítás, amelyből a szénhez hasonló fűtőértékű anyagot kapunk, másfelől kémiai újrahasznosítás, mint a pirolízis, amely során oxigénmentes környezetben a gumit többféle komponensre bontják szét, végül harmadrészt a granulátum formájú újrahasznosítás. Ez utóbbi eljárás esetén aprítással, darálással szétszedik a gumiabroncsot különböző méretű darabokra majd a fém és szövet tartalom eltávolítása után válhat alkalmassá az anyag különböző építőmérnöki anyag felhasználásra, itt merülhet fel először az aszfaltkeverékekben történő alkalmazás lehetősége.

A darálással létrejött gumiabroncs aprítékok különböző méretűek lehetnek, átlagosan 100-200 mm átmérőjűek, amelyek mérete további aprítással és őrléssel tovább csökkenthető. A gumiőrlemények már alapanyagai lehetnek a bitumen modifikálásnak, valamint kimondható az is, hogy ezek a gumi részecskék nagyon komoly eljárással készült tiszta, minőségű alapanyagok.
Különböző típusú eljárások léteznek arra, hogy gumiőrleményt állítsunk elő a gumiabroncsokból, úgy, mint a mechanikus őrlés vagy a nagyon alacsony hőmérsékleten nitrogén alkalmazása mellett elvégzett kriogén őrlés. Illetve ritkán alkalmazott őrlési módszer a vizes vagy hydro-jet vízsugaras őrlési módszer.

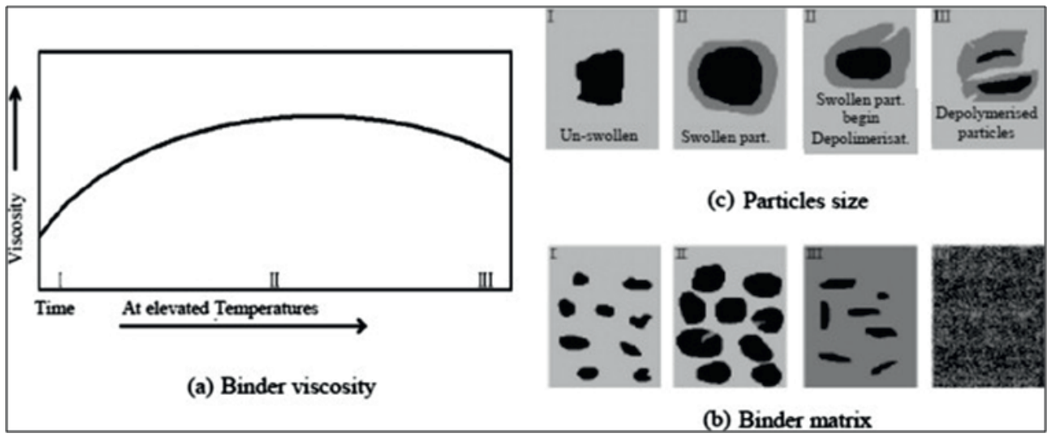
A 13-25 mm szemnagyság között változó gumiszemcsék, őrlemények aszfalt keverékhez történő hozzáadása már az 1950-es, 60-as években megjelent az USA-ban és Svédországban. [2]. Ezekben az esetekben a gumi szemcséket gyakorlatilag a kőváz kiegészítésére használták, a tudományos nyelv ezt az eljárást nevezte el később „száraz eljárásnak."
Szintén a 60-as évek elején Charles McDonalds egy arizonai mérnök úgy gondolta, hogy a gumiőrleményt érdemes bitumennel összekevernie és hagyni, hogy a két anyag kb. 1 órán keresztül reakcióba lépjen egymással, mert ebben az esetben egy mérnöki szempontból előnyős tulajdonságú új anyagot kapunk. Az anyagot elnevezte gumibitumennek, az eljárást pedig a tudományos nyelv „nedves eljárásnak" hívja.
A gumibitumenes aszfaltkeverékek a 80-as évekre teljesen elterjedtté váltak az USA több déli államában. Az amerikai szabványok szerint is elfogadott gumibitumenes aszfaltkeverék amerikai alkalmazása a 90-es évek visszaesése után a 2000-es évek elejétől kapott új lendületet. [3]
Kijelenthető, hogy napjainkban az USA számos államában sikerrel alkalmazzák lassan több mint negyven éve a nedves eljárás szerinti gumibitumenes aszfaltkeverékeket, mint ahogy a 80-as évek eleje óta ez történik Európa több országában is.
De sikerrel alkalmazzák ezt a típusú aszfaltkeveréket Taiwanon és több kínai infrastruktúra fejlesztési projektnél úgy, mint a 2008-as pekingi olimpia útépítési munkáinál, vagy a Hong-Kongi ECO-Park létesítésénél. Biztató próbálozások vannak Szudánban, Brazíliában vagy Oroszországban a gumibitumenes aszfalt keverékek elterjesztésére.
Az esetek nagy részében a nedves eljárás használata terjedt el jobban, de Dél Afrika és Ausztrália egyes államaiban a kevésbé hatékony száraz eljárást is széles körben alkalmazzák.

3. A MOL gumibitumen gyártási technológiájának, azaz a módosított nedves eljárás összehasonlítása egyéb gumiőrleményt alkalmazó eljárásokkal.

Több szakmai fórumon és a fentiekben is röviden ismertetésre került a gumibitumen gyártásának úgynevezett „száraz és nedves" eljárása. Ugyanakkor érdemes kissé részletesebben is bemutatni az egyes eljárásokat, illetve kifejteni, hogy miben más a MOL gumibitumen gyártási technológiája a világ számos helyén alkalmazott eljárásokhoz képest.

Száraz eljárás

A száraz eljárás során a gumiőrlemény nem érintkezik közvetlenül a bitumennel, hanem az ásványi anyaghoz adagolják [4], majd ehhez a keverékhez adják a bitument. Ebben az esetben nem is beszélünk gumibitumenről mivel csak részlegesen reagált rendszer jön létre. A részlegesen reagált rendszer azt jelenti, hogy a bitumen és gumiőrlemény magas hőmérsékletű intenzív érintkezési ideje nagyon rövid, gyakorlatilag az aszfaltkeverés időtartamára korlátozódik. Emiatt a guminak a kötőanyagra kifejtett tulajdonságjavító hatása lényegesen kisebb, mint amennyit a gumi elasztomertartalma (azaz polimertartalma) lehetővé tenne [5]. Vagyis a száraz eljárás alkalmazása során a gumiőrlemény inkább tekinthető inaktív töltőanyagnak, mintsem a bitumen tulajdonságait jelentősen javító adaléknak, modifikálószernek. A gumiőrlemény előnyös hatása az aszfaltban jelentkezik korlátozott mértékben, amennyiben megfelelő technológiával történt a keverés és útépítés.



2. kép: Kötőanyag viszkozitás alakulása a gumi őrlemény és bitumen érintkezése esetén, gumi részecskék duzzadási és oldódási folyamata [10]

Nedves eljárás

A száraz eljárással szemben a nedves eljárás alkalmazása során a bitument és a gumiőrleményt az aszfaltkeverés előtt érintkeztetik, vagyis a „gumiőrleménynek van ideje a nedvesedésre". Azonban a guminak ekkor is csak csekély mértékű oldódása történik meg a forró bitumenben [6, 7]. Ez azzal magyarázható, hogy az alkalmazott gumibitumen gyártási paraméterek mellett a gumi polimer láncainak felszakadása (depolimerizáció) és a láncok közti kénhidak hasadása (devulkanizáció) csak kis mértékben vagy egyáltalán nem történik meg. Főként csak a bitumen olajos komponenseinek adszorpciója játszódik le a gumiőrlemény felületén, azaz megduzzad a gumiőrlemény [8, 9]. Ez a folyamat a gumi-bitumen rendszer jelentős viszkozitás növekedését idézi elő.

Ugyanakkor a gumiőrleményből kioldódó, a gumiabroncs gyártásakor felhasznált lágyító olajok hatása ellentétes, de ez nem ellensúlyozza az előzőekben bemutatott viszkozitás növekedést. A nagy viszkozitású terméket eredményező nedves eljárást alkalmazó technológiák 2 mm-nél kisebb szemcseméretű, 15-22 tömeg% gumiőrleményt használnak a gyártott gumibitumenre vonatkoztatva [1, 20]. A felhasznált gumiőrlemény 85-90 tömeg %-a visszanyerhető a termékből, azaz egyáltalán nem oldódik fel. Az oldatba kerülő 10-15 tömeg% főként a gumimátrixból kioldódó, a gumiabroncs gyártásához felhasznált lágyítóolajokból származik, azaz a gumiőrlemény polimer szerkezete gyakorlatilag változatlan marad a gumibitumen gyártás során. A nedves eljárással előállított gumibitumen a nagy viszkozitása miatt speciális aszfaltreceptúrát és aszfaltgyártási körülményeket igényel. A nagy viszkozitás a szállítást is megnehezíti vagy ellehetetleníti, így ezt a fajta gumibitument speciális mobil-keverő egységekben gyártják az aszfaltkeverő telepen. A gyártott gumibitument így nem kell szállítani, hanem az aszfaltkeverő üzembe szivattyúzva azonnal felhasználják. A nedves eljárással gyártott gumibitumen nagy viszkozitása azt is jelenti, hogy ez a termék általában nem használható a normál bitumen vagy polimerrel modifikált bitumen felhasználásához tervezett ásványi vázzal, hanem speciálisan tervezett ásványi összetételre (szemcseméret eloszlásra) van szükség. A nehézségek ellenére az így előállított gumibitumen felhasználásával kevert aszfaltok és épített aszfaltutak jelentős minőségi és tartósságbéli javulást eredményeztek a normál útépítési bitumennel gyártott aszfaltokhoz, utakhoz képest [1].

A nedves eljáráshoz tartozó technológiáknál érdemes még megemlíteni a bitumenüzemi gumiőrlemény bekeverést, ez az un. keverőtelepi gumibitumen (terminal blend) gyártás. Ennek alkalmazása az előző szakaszban bemutatott nagy viszkozitású gumibitumen gyártásához képest kb 20-25 évvel később, az 1980-as években kezdődött az USA Texas államában. Ez a technológia kis szemcsenagyságú (max. 0,6 mm) gumiőrleményt alkalmaz 5-10 tömeg%-ban. Előnye a szállíthatóság, a gumiőrlemény nagyobb mértékű oldódása, a termék egyszerűbb kezelhetősége, viszont a gyártott aszfalt minősége nem éri el az előző szakaszban bemutatott termékkel realizálható előnyöket, és aszfaltminőséget. Ez a technológia kevésbé elterjedt, mint az előző szakaszban bemutatott 15-20% gumiőrlemény felhasználással gyártott nagy viszkozitású és az aszfaltkeverő telepen gyártott gumibitumen.

Módosított nedves eljárás, avagy a MOL technológia

A MOL és a Pannon Egyetem közös kutatás-fejlesztési tevékenysége a gumibitumenek területén a 2000-es évek elején kezdődött. A célkitűzés olyan gumibitumen termék előállítása volt, amely rendelkezik a már ismert gumibitumen termékek előnyeivel, de azok gyártási és/vagy felhasználási problémáit kiküszöböli vagy legalább elfogadható mértékben csökkenti. Nyilvánvaló volt, hogy a meglévő gumibitumen gyártó technológiákat, felhasznált alapanyagokat kell újra gondolni, továbbfejleszteni. További célkitűzés volt, hogy az új gyártástechnológia a kőolaj-finomítóban megvalósítható legyen. Ezzel lehetővé válhat, hogy a gumibitumen gyártása ne igényeljen speciális gumi-bitumen keverő üzemet az aszfaltgyártás helyszínén, a termék szállítása, aszfaltgyártói és útépítési felhasználása pedig a polimerrel módosított bitumenekhez hasonlóan történjen, azaz az aszfaltkeverő telepen és az útépítésnél se legyen szükség speciális eszközökre és speciálisan kidolgozott aszfalt-keverék összetételekre. A sikeres kutatás-fejlesztési tevékenység eredményeként kidolgozásra került egy szabadalmi oltalommal (HU226481) védett technológia és termék [11]. A szabadalom által leírt technológia az *un. módosított nedves eljárás,* a gyártott termék pedig a *kémiailag stabilizált gumibitumen:*

- A módosított nedves eljárás első technológiai lépésében a 15-16 tömeg%-nyi, 1,2 mm szemcseméret alatti gumiőrleményt magas hőmérsékletű (210-250oC) bitumenhez adják, intenzív keverésnek vetik alá, amely a gumiőrlemény duzzadását majd részleges oldódását eredményezi.
- A következő technológiai lépésben egy alacsonyabb hőmérsékletű (140-180oC) keverés során a részben feloldódott gumiőrlemény stabilizálása, a felszakadt szén-kén, illetve kén-kén kötések részben történő visszaépítése (revulkanizációja) történik.
- A gyártáshoz egy többfunkciós, saját fejlesztésű és gyártású adalék is felhasználásra kerül a MOL-ban, ami a gumiőrlemény bitumenben történő oldódását és a gumi-bitumen rendszer összeférhetőségét javítja, másrészt a viszkozitás csökkentő funkciója miatt a termék alkalmazhatóságának (aszfalt keverőtelepi szivatytyúzhatóság, porlasztás, tömöríthetőség) javításában is jelentős szerepe van.

– Kerékpárutak és járdák burkolataként.
– Kisforgalmú, városi, mezőgazdasági, erdőgazdasági utak pályaszerkezetének építésénél a bukolatalap lezárására.
– Minden olyan burkolatfelújításkor, amikor vékony vagy változó vastagságú kiegyenlítő réteg építésére van szükség.

A gumiőrlemény teljes feloldása a MOL és Pannon Egyetem által kifejlesztett módosított nedves eljárás során sem történik meg, ugyanis a teljes oldódás a gyártott termék minőségének rovására menne. A felhasznált gumiőrleménynek 50-60 tömeg%-a feloldódik, tehát lényegesen nagyobb részarány, mint a korábban alkalmazott nedves eljárású gumibitumen gyártási technológiákban. A gumi oldódása által a bitumenbe kerülő polimerek aktív módosító szerként javítják a bitumen tulajdonságait. A fel nem oldódott, a bitumen olajos komponenseinek megkötése által megduzzadt gumiszemcsék részben megőrzik rugalmas tulajdonságaikat. Ennek következtében javul a kötőanyag fáradási és alacsony hőmérsékletű tulajdonsága, ami az aszfalt minőségének szignifikáns javulását is eredményezi [12].

4. Hazai Gumibitumen alkalmazások

A MOL 2009-ben szerezte meg a kémialiag stabilizált gumibitumen szabadalmi védettségét, 2009-et megelőzően 3 veszprémi utcában, valamint egy zalaegerszegi utcában és a Gyáli 4602. sz úton épült meg gumibitumenes aszfalt keverék beépítésével néhány szász méter, összességében néhány km hosszú útfelújítás. A szabadalom alapján 2012-ben Zalaegerszegen a MOL prototípus üzemében indult a gumibitumen (pontos elnevezéssel gumival modifikált bitumen) gyártás. A termék felhasználásával az elmúlt 8 évben mintegy 150 km útszakasz épült vagy újult meg Magyarországon a gumibitumen felhasználásával, többek közt a pesti alsórakpart XIII. kerületi szakaszának 1,5 kilométer hosszú része, a Budaörsi út, a Villányi elkerülő út, illetve 2019-ben és 2020-ban megjelentek az első gumibitumenes aszfaltkeverék beépítések a gyorsforgalmi szakaszokon is. Az M25-ös, M76-os és M85-ös autópálya egy-egy szakaszán került beépítésre gumibitumenes szakasz, ezeknél az autópályáknál komoly lehetőséget jelent az is, hogy pontosan ismert, nem gumibitumenes - hanem polimerrel modifikált bitumenes - aszfaltkeverékek is beépítésre kerültek, így a későbbiekben a pályaszerkezeti változások és leromlások a két keverék típusnál jól összehasonlíthatóak lesznek. A hazai alkalmazások esetén túlnyomórészt kopórétegként kerültek beépítésre a gumibitumenes aszfaltkeverékek, azonban az elmúlt években a nagyobb forgalmú útszakaszon (Villányi elkerülő út, Budaörsi út, Pesti alsó rakpart) és a gyorsforgalmi útépítéseknél kötő és alaprétegként történő alkalmazása is megjelent a gumibitumenes aszfaltkeverékeknek.

Az elmúlt évtizedben számos aszfaltmechanikai vizsgálatot lefolytattunk a gumibitumenek viselkedésének feltérképezése céljából. Ahogy túlnyomórészt kopórétegeg beépítések történtek, így a vizsgálatok során többségben voltak a kopórétegek viselkedését célzó vizsgálatok. Összességében kijelenthető, hogy a 3. képen összefoglalt tulajdonságok rajzolódnak ki az aszfaltmechanikai vizsgálatokból.

Aszfaltmechanikai Vizsgálat típusa	Normál aszfaltkeverék	Polimerrel modifikált aszfaltkeverék	Gumibitumenes aszfaltkeverék
Keréknyomvályú képződési vizsgálat	+	++	++
Fáradási ellenállás vizsgálat	+	++	+++
ITC-Y merevség vizsgálat	+	+++	++
Hidegviselkedési vizsgálatok	+	++	+++
Megjegyzés: A + jelek közti különbségek az egyes keverék vizsgálati eredményeinek egymáshoz viszonyított helyzetét jelentik.			

3. kép: Az elmúlt tíz évben végzett aszfaltmechanikai vizsgálatok összevetése az egyes keveréktípusok esetében (+++: a legjobb teljesítményt jelöli)

Jól látszik, hogy a gumibitumenes aszfalt nem a hagyományos aszfaltkeverék versenytársa, hanem a polimerrel modifikált bitumenes keveréké. Egyértelműen kezd kirajzolódni, hogy a hidegoldali viselkedése és a fáradási ellenállása szignifikánsan jobb a gumibitumenes keverékeknek a polimerrel modifikált bitumenes keverékekkel történő összehasonlítás esetén, a plasztikus deformáció esetén – és egyelőre a kevés számú triaxiális vizsgálat is ezt támasztotta alá – nincs szignifikáns különbség a két keverék között, a merevség vizsgálati eredmények pedig a PMB-s keverékeknek kedveznek.

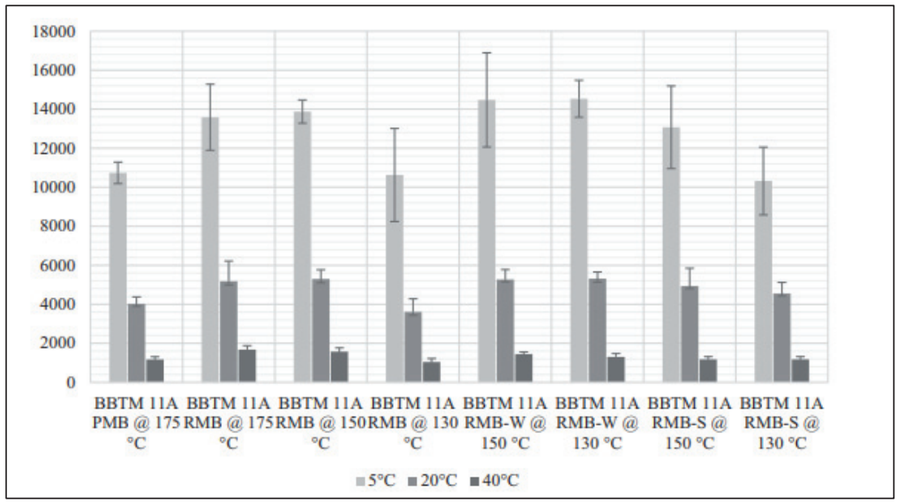
5. Warm Mix Asphalt azaz a Meleg (Langyos) Aszfalt és a gumibitumen házasság az új irány?

Az utóbbi évek nemzetközi kutatásai alapján kijelenthető, hogy a hazánkban jelenleg gyártott ún. forró aszfaltkeverékek (HMA – Hot Mix Asphalt) tulajdonságaival közel egyenértékű, de annál kisebb energiafelhasználással és károsanyag-kibocsátással is előállítható elvárt minőségű aszfaltkeverék, amelyet a nemzetközi szakirodalom meleg, „warm mix asphalt”-nak (továbbiakban: WMA) nevez. A WMA keverékek a különböző gyártástechnológiai eljárásoknak köszönhetően a hagyományos aszfaltokhoz képest akár 30-60°C-kal alacsonyabb hőmérsékleten is előállíthatóak. Így a fűtéshez szükséges energia csökkentésével akár 30-50 %-os közvetlen fűtőanyag megtakarítás érhető el, ami könnyen és azonnal realizálható is az aszfaltgyártás során. Szintén fontos szempont, hogy a kőváz bitumennel történő bevonása sem sérül és így a tömöríthetősége sem rosszabb a WMA aszfaltnak a hagyományos aszfaltkeverékekhez képest. [13]

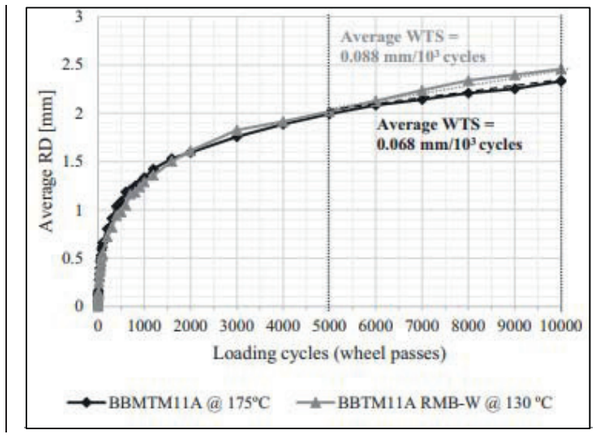
A WMA gyártása történhet többek között habosítással és szakaszos kőváz bevonással, továbbá kémiai vagy szerves adalékanyag hozzáadásával.
Nyugat Európában és az USA-ban jelentős mennyiségben alkalmaznak különböző típusú WMA eljárásokkal gyártott aszfaltkeverékeket és ebbe a trendbe illeszkedve jelent meg újdonságként a WMA keveréknek és a gumibitumennek a házasítása, azaz létrejött a gumibitumenes WMA keverék. Már 2010-ben Kalifornia több állami főútvonalán alkalmazták a gumibitumenes WMA keveréket, a 2010-es állami műszaki jelentés már a keverék előnyeiről és kiváló tulajdonságairól számol be. [14]
A technológiai alapvetés szerint amennyiben sikerülne a gumibitumenes keverék előnyeit kombinálni az alacsony gyártási és beépítési hőmérsékletű WMA keverékkel, úgy egy fenntarthatósági, környezetvédelmi és gazdasági szempontból igen előnyős keveréket sikerülne megalkotni. [15]

A nemzetközi, főképpen tengerentúli kutatások azt bizonyították, hogy további szerves vagy kémiai adalékanyag hozzáadásával létre lehet hozni az eredeti gumibitumenes aszfaltkeverék mechanikai tulajdonságait teljesítő keveréket WMA aszfaltként is, hisz az indirekt húzó feszültség, keréknyomvályú képződési ellenállási és rugalmassági modulus értékek gyakorlatilag a WMA keverék esetén nem különböztek a referencia keveréket jelentő „normál” gumibitumenes keverékkel történő összehasonlításban. [16]
Portugál kutatók kimutatták, hogy felületaktív alapú WMA adalék alkalmazása a gumibitumenes aszfaltkeverékeknél 30 oC-al csökkenti a gyártási hőmérsékletet, amely mellett hagyományos gumibitumenes keverékkel egyező teljesítményt érünk el. [17]
A WMA-Gumibitumen témában végzett legfrissebb spanyol kutatás során négy keveréket hasonlítottak össze melynek célja az egyes keverékek komplex viselkedésének meghatározása volt.
Egy kontroll PmB-s keverék és 3 gumibitumenes keverék (1 normál gumibitumenes és 2 adalékanyaggal módosított WMA keverék) került összehasonlításra.
A kontrol keverék PMB 45/80-65 bitumennel készült, a gumibitumenes alapkeverékhez pedig 70/100-as, magas penetrációjú bitument használt 20 tömegszázalék gumiőrlemény mellett. Két fajta WMA adalékanyagot használtak, a paraffinos (W) (Sasobit®) szerves anyagot és a felület aktiváló kémiai adalék anyagot (S) (Zycotherm®). A vizsgálatok elvégzéséhez a spanyol kutatók a vékony kopóréteg beépítéséhez használt BBTM 11A jelű keveréket választották, különböző PMB (polimeres), RMB (gumibitumenes), RBM-W (gumibitumenes viaszos 3% viasszal), RBM-S (gumibitumenes kémiai+0,05% kémiai adalékkal) bitumenek alkalmazása mellett. A PMB-s keverék csak 175 oC-on készült, az RMB keverék 175, 150 és 130 oC-on, az RMB-W és RMB-S keverékek pedig 150 és 130 oC -on készültek.

A vizsgálati terv három részre oszlott, az 1. fázisban a kötőanyagok reológiai jellegzetességét vizsgálták, a 2. fázisban az aszfaltkeverék tervezéshez szükséges paramétereket, a 3. fázisban pedig az aszfaltmechanikai jellemzőket.
A 3. fázisra fókuszálva elmondható, hogy a 4. képen látható, az EN 12697-26 szabvány szerint végzett merevség vizsgálati értékek előnyösebbek voltak az RMB-S kémia adalékanyagos WMA keverék kivételével minden vizsgálati hőfokon a hagyományos 175 oC -on készült PMB-s keverékek merevségi eredményeinél. A legjobb eredményeket meglepő módon – és igazából 150 és 130 oC-os gyártási hőmérséklettől függetlenül – a paraffinos adalékanyaggal készült RMB-W keverék értékei adták. [18]
A hazai vizsgálati adatokkal összevetve ez az eredmény meglepőnek tűnhet, igaz a magyarországi vizsgálatok hagyományos kopó, ritkábban kötőrétegre vonatkoztak és nem nagyon vékony BBTM rétegekre, illetve WMA aszfaltokon egyáltalán nem voltak gumibitumenes alkalmazást célzó vizsgálatok.



4. kép: A BBTM 11A keverékek merevségi (MPa) eredményei különböző vizsgálati hőfokon. [18]



5. kép: Keréknyomképződési vizsgálat eredményei [18]

A keréknyomképződési vizsgálatok szintén biztatóak voltak az RMB-W keverék szempontjából, hiszen a 130 oC -on gyártott keverék fajlagos nyommélysége megegyezett a PMB-kontroll 175 oC-on gyártott keverék eredményével és az alakváltozási görbéje is hasonló volt a két keveréktípusnak (5. kép).

Az elmúlt évtizedben hazánkban is megjelent a WMA típusú aszfalt keverék technológiája, leginkább a francia szabadalomként ismert LEA (Low Energy Asphalt®) aszfalt került beépítésre néhány útszakaszon. A fenti eredmények azt mutatják, hogy az egyébként is alkalmazásra érett, környezettudatos technológiát érdemes volna továbbfejleszteni a gumibitumenes keverékeknél is.

6. A gumibitumenes aszfaltkeverék szerepe a pályaszerkezetben – Alap és kötőréteg vizsgálatok

Nyilvánvaló, hogy az egyes aszfaltkeverékek összehasonlítása mellett fontos tudnunk, hogy egy előnyös aszfaltmechanikai tulajdonságú gumibitumenes keverék milyen hatással van a pályaszerkezet egészére. Különösen fontos ez napjainkban, amikor különösen nagy forgalmú útszakaszok esetén előtérbe kerülnek az úgynevezett örök életű (perpetual pavement) azaz hosszú élettartalmú pályaszerkezetek.

A Közlekedéstudományi Intézet és BME Út és Vasútépítési Tanszék 2019-es komplex vizsgálata kötőrétegben és felső alaprétegben vizsgálata a gumibitumenes keveréket. A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit is felhasználó BISAR és WESLEA számítógépes modellezéssel lefutatott eredmények azt mutatták, hogy a teljes pályaszerkezet összehasonlításában FZKA alapréteget feltételezve hagyományos útépítési bitment tartalmazó aszfaltkeverék esetén a 106 db egységtengely áthaladási számhoz 26,5 cm vastagságú réteg beépítése szükséges, míg a polimerrel és gumival modifikált bitumenes keverék esetén ez csak 18,5 cm vastagságú réteg beépítését kívánja, ami 8 cm megtakarítást jelent. Még szembetűnőbb a gumibitumenes keverék előnye abban az esetben, ha Ckt alapréteget alkalmaztunk, ugyanis ebben az esetben megtakarítás mutatható ki a gumibitumenes keveréknél a polimerrel modifikált bitumenes keverékhez képest. Itt a gumival modifikált bitument tartalmazó aszfaltréteg 1,0-1,5 cm-el vékonyabb aszfaltvastagság beépítést igényli. A vékonyabb aszfalt felső alapréteg mellett ez azt is jelentheti, hogy a GMB keveréket nagyobb merevségű alsó alaprétegek esetén célszerű választani. [12] [19]

A fenti számítógépes modellezés egy AC 22 kötő aszfaltkeverék pályaszerkezeti viselkedését mutatja be GMB-s, PMB-s és normál bitumenes kötőanyag alkalmazásával. Érdemes volna a modellezést és laboratóriumi vizsgálatokat más típusú kötő- és alaprétegek és bitumenes kötőanyagok alkalmazása mellett is tovább folytatni. A cél olyan keverékek kidolgozása lehetne, melyek a hosszú élettartamú pályaszerkezetek esetén az alsó, fáradásnak ellenálló rétegként költséghatékonyan és jól gyárthatóak ipari körülmények között is.

7. Összefoglalás

A gumibitumenek alkalmazása több mint 50 éve jelen van a nemzetközi útépítésben. Az anyag alkalmazása az előnyös tulajdonságok ellenére sem tudott a kívánt mértékben elterjedni, alapvetően gyártástechnológiai és felhasználási problémák miatt. A MOL kémiailag stabilizált gumibitumen terméke sikeresen kiküszöbölte ki vagy legalább mérséklete ezeket a gyártás és szállítás technológiai problémákat és egy olyan kedvező anyagot hozott létre, amely sikeresen alkalmazható bármely aszfaltkeverék kötőanyagaként. Az elmúlt években számos aszfaltmechanikai vizsgálat bizonyította a hazai fejlesztésű gumibitumen alkalmazását és végre a gyorsforgalmi úthálózaton is megjelentek a gumibitumenes keverékek. Jelen helyzetben a gumibitumen hazai és nemzetközi elterjedésnek érdekében meg kell vizsgálni, hogy miképpen lehet kiterjeszteni a gumibitumen alkalmazási körét.
A bemutatott hazai és nemzetközi vizsgálati eredményeknek köszönhetően érdemes volna a WMA aszfaltok (meleg aszfaltok) esetén is megvizsgálni a gumibitumen alkalmazásának lehetőségét, illetve a teljes pályaszerkezeti viselkedést nézve további vizsgálatokat kellene végezni a gumibitumenes keverékek kötő és felső alaprétegben történő alkalmazására.
Véleményünk szerint a MOL fejlesztésű gumibitumennel nemzetközi szinten is sikereket, komoly kutatás-fejlesztési áttörést lehet elérni.

8. Felhasznált irodalom

[1] D Lo Presti: Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review, Construction and Building Materials, 49, 863–881, 2013
[2] D. I. Hanson - K. Y. Foo - E. R. Brown -R. Denson: "Evaluation and characterization of a rubber-modified hot mix asphalt pavement," Transportation Research Record, no. 1436, pp. 98–107, 1994.
[3] Kuennen T. : Asphalt rubber makes a quiet comeback. Better Roads Magazine; May 2004.
[4] C. Weidong: Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process, Construction and bbuilding materials, 21, 5, 1011-1015, 2007
[5] US 6060542, G. Van Gooswilligen - M. Christopher Phillips - K. Steernberg: Bitumen compositions and a process for their preparation, 2000
[6] State of California Department of Transportation, Materials Engineering and Testing Services: Asphalt Rubber Usage Guide, 2006
[7] Fontes, L. – Pereira, P. – Pais, J. – Triches, G.: Behaviour of Asphalt Rubber Mixtures with Different Crumb Rubber and Asphalt Binder Sources, Proceedings of Asphalt Rubber 2006 Conference, Palm Springs, California, ISBN: 962-405-091-0, p. 619-639, 2006
[8] Zanzotto, L. – Kennepohl, G.J.: Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt, Transportation Research Record, Materials and Construction, Vol. 1530, p. 51-58, 1996
[9] Gawel, I. – Stepkowski R. – Czechowski, F.: Molecular interactions between rubber and asphalt, Ind. Eng. Chem. Res., 45, 3044-3049, 2006
[10] Shatanawi K. - Thoedsen C. s.n. In: Review of Utilization of Waste Tires in Asphalt. Globhal Plasti Environmental Conference. Orland, FL, USA; 2008.
[11] HU 226481, Bíró, Sz. – Bartha, L. – Deák, Gy. – Geiger, A.: Chemically stabilized asphalt rubber compositions and a mechanochemical method for preparing the same, 2009
[12] Gáspár L. - Tóth Cs. - Primusz P. - Almássy K. – Hunyadi D.- Szentpéteri I.: A hazai GmB kötőanyagú útpályaszerkezeti rétegek komplex viselkedési értékelése, KTI Közlekedéstudományi Intézet és BME Út és Vasútépítési Tanszék Vizsgálati Jelentés, 2019
[13] Tóth Cs.: LEA® – alacsony energiatartamú aszfaltkeverék, Útügyi Lapok, 2014. 2. évf. 3.szám.
[14] Hicks G. - Cheng D. - Teesdale T: Assessment of Warm Mix technologies for use with Asphalt Rubber paving application, Tech-Report-103TM; 2010.
[15] H. Wang, et al.: Review of warm mix rubberized asphalt concrete: Towards a sustainable paving technology, J. Clean. Prod., 177 (2018), pp. 302-314, 10.1016/j.jclepro.2017.12.245
[16] C. Akisetty: Evaluation of Warm Asphalt Additives on Performance Properties of CRM Binders and Mixtures, Civil Engineering. Clemson University, Clemson, USA (2008)
[17] J.R. Oliveira - H.M. Silva - L.P. Abreu - S.R. Fernandes: Use of a warm mix asphalt additive to reduce the production temperatures and to improve the performance of asphalt rubber mixtures, J. Clean. Prod., 41 (2013), pp. 15-22
[18] Miguel Sol-Sánchez - Ana Jiménez del Barco Carrión - Ana Hidalgo-Arroyo - Fernando Moreno-Navarro - Leticia Saiz - María del Carmen Rubio-Gámez: Viability of producing sustainable asphalt mixtures with crumb rubber bitumen at reduced temperatures, Construction and Building Materials Volume 265, 30 December 2020, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120154
[19] Dr. Primusz Péter - Dr. Tóth Csaba: Az egyedi pályaszerkezet méretezésben rejlő gyakorlati előnyök, Aszfalt Magazin, XXVII. évf. 2020/1. szám, pp. 13-20
[20] Federal Highway Administration, US Departement of Transportation: The Use of Recycled Tire Rubber to Modify Asphalt Binder and Mixtures, FHWA-HIF-14-015, September, 2014

Aszfaltkeverékek relaxációs modulusának meghatározása

Dr. Primusz Péter

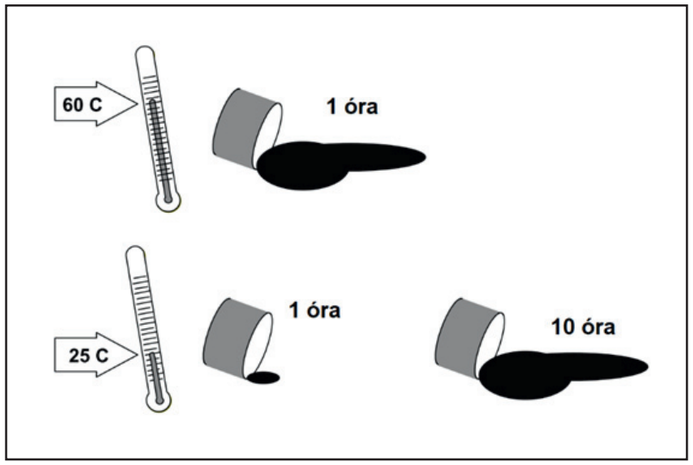
egyetemi adjunktus
BME Út és Vasútépítési tanszék

Dr. Tóth Csaba

egyetemi docens
tanszékvezető
BME Út és vasútépítési tanszék

Előzmények

Az Aszfalt újság 2020 évi első számában „Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök" címmel megjelent cikkünkben az útpályaszerkezetek méretezésének – elsősorban – elvi kérdéseit igyekeztünk felvázolni, kihangsúlyozva a modellalkotás jelentőségét és fontosságát, továbbá utalva a számításokhoz nélkülözhetetlen anyagi paraméterek meglétének szükségességére.
Az ott elhangzottak alátámasztására bemutattunk egy egyszerű modellszámítást, amelyben három különböző kötőanyaggal készített – útépítési bitumen mellett polimerrel, illetve gumival modifikált –keverékek már pályaszerkezeti rétegként történő viselkedését vizsgáltuk. A modellszámításokkal azt demonstráltuk, hogy az aszfaltkeverékek pusztán kötőanyag- illetve keverékoldali vizsgálatai és az ezen alapuló minősítések meglehetően csekély információval szolgálnak a későbbi pályaszerkezetben történő viselkedést illetően. Láttuk, hogy egy gyengébb merevségű, de kiemelkedő fáradási ellenállási keverék megfelelő pályaszerkezeti rétegbe történő beépítése jelentős – és számszerűsíthető – élettartamnövekedést vagy vastagság csökkenést is eredményezhet, míg egy merevebb, de átlagos fáradási tulajdonságú keverékkel épült réteg kedvezőtlenebb élettartamot is okozhat. Ezen összefüggéseknek a típuspályaszerkezetek rutinszerű alkalmazásakor rejtve maradnak, feltárásuk azon az empirikus úton, amelyen a hazai aszfalttechnológia – a jelenlegi műszaki szabályozásunk korlátoltságának köszönhetően – megrekedt, nem lehetséges.
A fent hivatkozott cikkben hangsúlyoztuk, hogy a modellezéshez használt, az egyes rétegek merevségét leíró ún. Young-modulus az aszfaltréteget lineárisan rugalmasnak tekinti, ami jelentős egyszerűsítés a valós anyagi viselkedés vonatkozásában, azonban a járatos méretezési eljárások tekintetében mégis meglehetősen elterjedt. Jelen cikkben, korábbi cikkünk állításait árnyalva, arra szeretnénk a hangsúlyt helyezni, hogy miként vehető figyelembe az aszfaltkeverék kötőanyagnak köszönhető viszkoelasztikus viselkedése.
Az aszfalt feltételezett viszkoelasztikus jellege azt jelenti, hogy a rugalmas anyagi tulajdonságok mellett megjelennek viszkózus hatások is, amelyek például olyan hétköznapi anyagainkra jellemzőek, mint például a motorolaj vagy akár a víz. Ezek a tulajdonságok azonban nemcsak kombinálódnak, hanem alapvetően függenek mind a hőmérséklettől, mind a terhelési időtől. Ezt szemlélteti közérthető egyszerűséggel az 1. ábra.



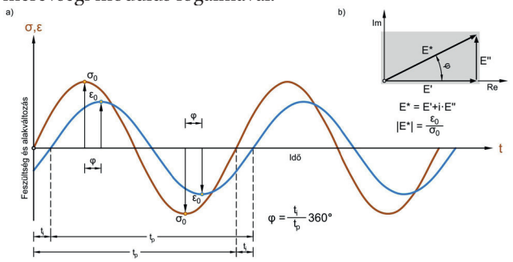
1. ábra. Ahogyan azt aszfalt viselkedik (Superpave Fundamentals Reference Manual 2010)

Az aszfaltanyagok dinamikus jellemzői periodikus gerjesztés hatására

Méretezéskor a klasszikus teherhordó szerkezetek építőanyagait rugalmas viselkedésűnek tekintjük. A rugalmas anyagokra a Hooke-törvény érvényes, amit a közismert $\sigma = E \cdot \varepsilon$ összefüggés fejez ki. Az arányossági tényező itt az állandónak feltételezett E rugalmassági modulus. Ez az anyagjellemző teremt kapcsolatot a feszültségek és alakváltozások között. Az aszfaltok azonban már közepes (5-15→C), de különösen magasabb (> °40→C) hőmérsékleten lényegesen eltérnek ettől a feltételezett rugalmas viselkedéstől:

- →rugalmassági modulusuk nem állandó, hanem a hőmérséklettől és a terhelési időtől, a frekvenciától függ;
- →állandó feszültség hatására a fajlagos alakváltozás időben növekszik (kúszás);
- →állandó fajlagos alakváltozás mellett a feszültség időben csökken (relaxáció);
- →ciklikus feszültségváltozás hatására hiszterézis jelentkezik, ami a mechanikai energia disszipációjával jár.

Ezeket a viszkoelasztikus tulajdonságokat a kötőanyag (a bitumen) örökíti át az aszfaltkeverékre, ezért indokolt most megismerkednünk az ún. komplex modulus, valamint a merevségi modulus fogalmával.



2. ábra. Az aszfaltanyag válasza zérus középértékű, tiszta szinuszos lüktető gerjesztésre (a); a komplex rugalmassági modulus és összetevői a komplex síkon (b)

Ha a laboratóriumban egy aszfalt-próbatesten:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \sin(\omega t) \tag{1}$$

alakú periodikus, tiszta szinuszos gerjesztést alkalmazunk, akkor az aszfaltkeverék viszkoelasztikus viselkedése miatt az alkalmazott szinuszosan változó elmozdulás és az ugyancsak szinuszosan változó feszültség között:

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\omega t + \varphi) \tag{2}$$

fáziseltérés alakul ki az 2.a ábra szerint. a ω körsebességet az ismételt terhelésnél (fárasztásnál alkalmazott f frekvencia határozza meg:

$$\omega = 2\pi f. \tag{3}$$

Útpályaszerkezeteknél rendszerint $f = 4 - 50$ Hz közötti frekvenciákat szoktunk választani (Nemesdy 1985). Ha a vizsgált anyag tökéletesen rugalmas lenne, akkor a két szinusz-görbe periódusainak kezdő és végpontjai összeesnének. A dinamikus alakváltozási modulust, vagyis a komplex modulust most is a Hooke-féle anyagtörvény mintájára, de időfüggő módon értelmezzük:

$$E^*(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} \tag{4}$$

vagyis mindig a pillanatnyi t időpillanathoz tartozó σ és ε értékeket osztjuk egymással. A komplex modulus elnevezés onnan ered, hogy E^* értékét a komplex számsíkon előnyösebben lehet ábrázolni. Aki a matematikai részletek iránt érdeklődik annak ajánljuk Ambrus & Bartha (1999) és Tóth (2009) munkáit részletesebb tanulmányozásra. Számunkra most csak az a fontos, hogy a komplex modulus felbontható egy valós (reális), E' rugalmassági modulusra, valamint egy képzetes (imaginárius), E'' viszkózus részre. A komplex modulus valós értékét tárolási modulusnak nevezzük, mert a deformáció megszüntetéséhez szükséges feszültséget tárolja. A komplex modulus képzetes értéke az ún. veszteségi modulus, amely a feszültség azon részét képezi, amely az anyagban a deformáció közben rendszerint hő formájában elvész. A komplex modulus abszolút értéke (a merevség) az 2.b ábra alapján könnyedén kiszámítható:

$$|E^*| = \sqrt{(E)^2 + (E)^2}. \tag{4}$$

A merevség és a fázisszög ismeretében a tárolási és a veszteségi modulusok szintén számolhatók:

$$E = |E^*| \cos\varphi \tag{5}$$

$$E = |E^*| \sin\varphi \tag{6}$$

Matematikailag levezethető, hogy a komplex modulus abszolút értéke (kiejtve az i imaginárius szám kényelmetlenségét) megegyezik a merevségi modulussal, amire alkalmazzuk a Van Poel (1954) által bevezetett S jelölést:

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \tag{7}$$

A merevségi modulusnál tehát σ_0 és ε_0 amplitúdókat osztjuk egymással, tekintet nélkül arra, hogy nem egy időpontban lépnek fel, hanem φ fáziskésésnek megfelelő időkülönbséggel következnek egymás után (Nemesdy 1985). Ennek a matematikai eredménynek a fizikai tartalmát az adja, hogy az E' rugalmassági modulusnak az értéke hűvösebb hőmérsékleten (20-25°C) elég közel esik az S merevséghez, ezért azt, mint rugalmassági modulust használhatjuk fel számításainkban. Ez az $E \approx S$ „rugalmassági" modulus azonban két fő tényezőtől, a hőmérséklettől és a terhelési frekvenciától erősen függ.

Idő-hőmérséklet szuperpozíció

A reológiából ismert hőmérséklet-idő hasonlósági elv régóta jól használható eszköz az aszfaltkeverékek viselkedésének tanulmányozásban, amit a 5. ábráról lehet legkönnyebben megérteni. Az S merevségi modulus annál magasabb, minél nagyobb a terhelési f frekvencia (azaz minél kisebb a t terhelési idő) és minél alacsonyabb a vizsgálati T hőmérséklet (Nemesdy 1985). A laboratóriumi vizsgálóberendezések többsége viszont, mint amilyen az SPT (Simple Performance Tester) is, csak korlátozott frekvencia-sávon és kevés hőmérsékleten tud megfelelően mérni. Az 5. ábrán egy 7 frekvencián és 5 hőmérsékleten mért kísérletsorozat merevségértékeit láthatjuk. Most válasszuk referenciahőmérsékletnek pl. a $T_{ref} = T_3$ értéket. Ekkor a vegyészetből ismert ún. Arrhenius-féle egyenlettel a többi T kísérleti hőmérséklethez sorra számítunk egy-egy α_T eltolási tényezőt (Md. Yusoff, Chailleux & Airey 2011):

$$\log(\alpha_T) = \underbrace{\frac{0{,}4347 \cdot \Delta E_a}{R}}_{C_A} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) = C_A \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \tag{8}$$

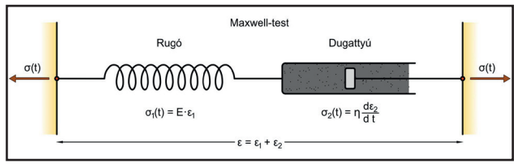
ahol

α_T = eltolási tényező
T = kísérleti hőmérséklet (K)
T_{ref} = referencia hőmérséklet (K)
ΔE_a = aktiválási energia (J mol^{-1})
R = egyetemes gázállandó (8,314 J mol^{-1} K^{-1})

Megjegyezzük, hogy a reológiában az Arrhenius-féle egyenlet mellett még igensokféle eltolási összefüggés ismert, az egyik gyakran használt még a Williams-Landel-Ferry (WLF) egyenlet. Az α_T eltolási tényezőkkel a kísérleti frekvenciákat megszorozva ($fr = \alpha_T \cdot f$), az egy hőmérsékleten mért merevségeket egy másik frekvenciatartományra lehet kiterjeszteni. Egyszerűbben megfogalmazva, a valóban megmért merevségeket vízszintesen úgy toljuk el, hogy azok egy sokkal szélesebb frekvenciatartományban érvényes görbét adjanak ki, amit a vizsgált keverék mestergörbéjének nevezünk.

Az aszfalt-relaxáció leírása Maxwell-modellel

A viszkoelasztikus aszfalt mechanikai viselkedést jól lehet közelíteni egy kétparaméteres egyszerű Maxwell-testtel, ami sorba kapcsolt rugó és csillapító elem (a továbbiakban: dugattyú) együtteséből áll, ahogy azt a 3. ábra mutatja. Ennek értelmében két jellemzője van: az E rugalmassági modulus és a η viszkozitás.



3. ábra. A Maxwell-test egy elasztikus és egy viszkózus elem soros kapcsolásával jön létre

A rugó és a dugattyú elemen fellépő σ_1 és σ_2 feszültségek megegyeznek σ eredővel (Bodor & Vas 2000):

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 \tag{9}$$

míg a mérhető ε eredő nyúlás megoszlik a két sorba kapcsolt elemi testen:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \tag{10}$$

Behelyettesítve a (10) összefüggésbe a rugó- és dugattyúelem nyúláskifejezéseit:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{\eta} t = \frac{\sigma_0}{E}\left(1 + \frac{t}{\tau}\right) \tag{11}$$

kapjuk meg a teljes alakváltozást, ahol $\tau = \eta / E$ hányados idődimenziójú és relaxációs időnek v agy időállandónak nevezzük. A modellben található rugó ugrásszerű ε_0 elmozdulás hatására azonnali deformációval válaszol, aminek hatására $\sigma_1 \cdot E_1$ kezdeti feszültség ébred benne. Ha ez az alakváltozás konstans, akkor a rugó által tárolt energiát az időben a dugattyúelem fogja eldisszipálni, ezért az ébredő feszültség fokozatosan csökken, majd hosszú idő után eléri a nullát. Ez megmutatható az alábbi differenciál egyenlet megoldásával (Fi, Bocz, Pethő & Tóth 2012):

$$\frac{\mathrm{d}\varepsilon}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{E}\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}t} + \frac{\sigma}{\eta} \tag{12}$$

Az első kifejezés az (12) egyenlet jobb oldalán a rugó alakváltozása, a második kifejezés a dugattyú alakváltozása. Ha az alakváltozás időbeli változása zérus ($\mathrm{d}\varepsilon / \mathrm{d}t = 0$), akkor az integrálás után:

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{13}$$

megkapjuk a Maxwell-modell feszültség relaxációs függvényét. A (13) egyenletből látható, hogy amennyiben $t = 0$, akkor $\sigma = \sigma$; illetve, ha $t = \infty$, akkor $\sigma = 0$. A feszültség leépülése, relaxációja annál gyorsabb, minél kisebb a τ relaxációs idő, azaz az aszfaltnak minél kisebb az η viszkozitása ill. minél nagyobb az E modulusa.

Ha $t = \tau$ akkor $\sigma = 0{,}368\ \sigma_0$; vagyis azt lehet mondani, hogy a relaxációs idő elmutálva a kezdeti feszültség az eredeti érték 36,8%-ára csökken (Huang 2004).

Végül adjuk meg – a részletes levezetés mellőzésével – a Maxwell-modell komplex modulusát a következő alapösszefüggés felhasználásával:

$$E^*(\omega) = E'(\omega) + iE''(\omega). \tag{14}$$

ahol

$$E'(\omega) = \frac{E\omega^2\tau^2}{1+\omega^2\tau^2} \quad \text{és} \quad E''(\omega) = \frac{E\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2} \tag{15}$$

Ezzel a Maxwell-testtel kapcsolatos legfontosabb ismereteket áttekintettük. Aki további részletek iránt érdeklődik annak ajánljuk Gajári (2004) munkáját tanulmányozásra.

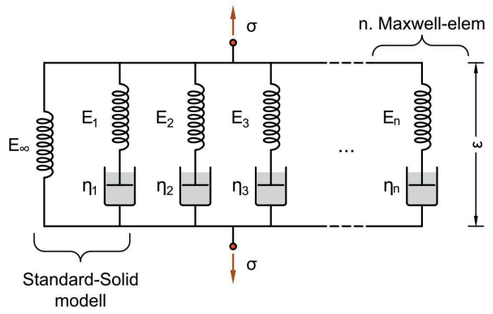
Az általánosított Maxwell-modell összefüggései

A polimerekhez hasonlóan a valós aszfaltanyagok viszkoelasztikus viselkedését az egyszerű kételemes Maxwell-modell csak minőségileg, azaz alakilag írja le, mennyiségileg – vagyis pontossági szempontból még viszonylag kis időtartományokban is – csak durva közelítésnek tekinthető. Ez azzal magyarázható, hogy a relaxációs idők az aszfaltokban a különböző tömegű részecskéknél ill. molekulaláncoknál eltérnek, következésképpen nem egy időállandójuk van, mint a Maxwell-modellnek, hanem egy értéktartományban eloszló időállandó halmazzal rendelkeznek (Bodor & Vas2000).

Ezért legtöbbször a vizsgált aszfaltkeverék mechanikai viselkedésének leírásához az általánosított Maxwell-modellt választjuk.

Az általánosított Maxwell-modell n darab, egymással párhuzamosan kapcsolt Maxwell-elemből és egy ezekhez szintén párhuzamosan kapcsolt Hooke-elemből áll (S. Tóth 2000).

A párhuzamosan kapcsolt E_∞ modulussal bíró rugóelemre azért van szükség, mert a laboratóriumi kísérletek szerint elegendően hosszú idő elteltével is marad az anyagban bizonyos rugalmas deformáció. Az egyes Maxwell-elem részekre jutó terhelő feszültség összegződik, míg az egyes Maxwell-elemek deformációja azonos értékű (Bodor & Vas 2000):



4. ábra. Az általánosított Maxwell-modell párhuzamosan kapcsolt Maxwell-elemekből épül fel

$$\sigma = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i + \sigma_\infty \quad \text{és} \quad \varepsilon = \frac{\sigma_\infty}{E_\infty} \tag{16}$$

Az ε_0 mértékű relaxációs gerjesztés esetén az i-edik ág feszültségének lefolyása a (13) összefüggés szerint($t > 0$):

$$\sigma_i(t) = \varepsilon_0 \sum_{i=1}^{n} E_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \tag{17}$$

ahol τ_i az i-edik ág időállandója ($\tau_i = \eta_i / E_i$).

A relaxációs gerjesztésre az általánosított Maxwell-modell feszültségválasza

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 \left[E_\infty + \sum_{i=1}^{n} E_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right] \tag{18}$$

melyből a relaxációs modulust már kitudjuk fejezni:

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = E_\infty + \sum_{i=1}^{n} E_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \tag{19}$$

ahol:

$E(t)$ = a relaxációs modulus a t időpillanatban
E_∞ = a teljesen relaxált anyag modulusa ($t = \infty$)
E_i = részmodell modulusok (Prony-sor paraméter)
τ_i = relaxációs idők (Prony-sor paraméter)

Az általánosított Maxwell-modellt jellemző kezdeti E_0 rugalmassági modulust a $t = 0$ helyen kapjuk:

$$E_0 = E(0) = E_\infty + \sum_{i=1}^{n} E_i \tag{20}$$

aminek segítségével az (19) egyenletet a következő formára tudjuk átírni:

$$E(t) = E_0 - \sum_{i=1}^{n} E_i \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}\right) \tag{21}$$

A (τ_i , E_i) paraméterpárok sorozata az ún. diszkrét relaxációs spektrum, ami az adott anyagot jellemző időállandók eloszlását és modulussúlyát határozza meg.

Az általános Maxwell-modell komplex modulusa – a párhuzamos kapcsolás miatt – az egyes ágak komplex modulusainak összegével egyezik meg, vagyis a (14.)képletben külön összegzendők a valós és külön a képzetes részek:

$$E'(\omega) = E_\infty + \sum_{i=1}^{n} E_i \frac{(\omega\tau_i)^2}{1 + (\omega\tau_i)^2} \quad \text{és} \quad E''(\omega) = \sum_{i=1}^{n} E_i \frac{\omega\tau_i}{1 + (\omega\tau_i)^2} \tag{22}$$

amihez felhasználtuk a Maxwell-testnél bevezetett (15) összefüggéseket is. Vegyük észre, hogy a (22) összefüggésekben szereplő (τ_i ,E_i) Maxwell-részmodell paraméterek szerepelnek a (19) relaxációs függvényben is, így azokat meghatározhatjuk a mindenkori ω frekvencián mért $E^*(\omega)$ és $\varphi(\omega)$ kísérleti adatokból.

Prony-sor illesztés kísérleti adatokra

A relaxációs spektrumát három azonos kővázú, de eltérő kötőanyagú (konvencionális, polimerrel- és gumival modifikált bitumen) aszfaltkeveréknek határoztuk meg és hasonlítottuk össze:

- AC22 kötő 50/70
- AC22 kötő PmB 25/55-65
- AC22 kötő GmB 45/80-55

A bitumentartalom mind a három esetén 4,5 tömegszázalék volt, a keverékek további részletei Kisgyörgy, Tóth & Geiger (2016) munkájában találhatók.

Aszfalatanyagok relaxációs görbéjét a (19) összefüggésben megadott Prony-sorral közelítettük, aminek az ismeretlen (τ_i , E_i) anyagparamétereit az ún. SPT készülékkel vizsgált hengeres próbatestek különböző hőmérsékleten és frekvencián mért dinamikus aszfaltmodulus adataiból határoztuk meg. Az SPT vizsgálattal mind a három keverékre, három hőmérsékleten és hat eltérő frekvencián rögzítettük a merevséget és fázisszöget:

Simple Performance Test (SPT)			
T [°C]	f [Hz]	|E*m| [MPa]	φm [°]
10	25	33100	17,33
10	10	32464	13,03
10	5	32003	16,18
10	1	29290	18,75
10	0,5	26386	22,23
10	0,1	18527	23,80
...	...	...	...

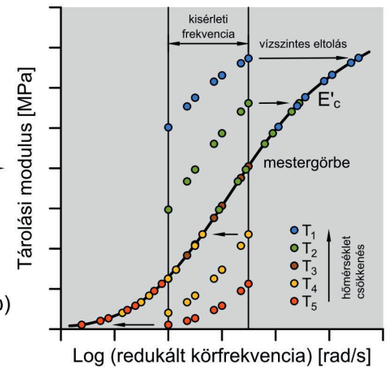
1

T és ω=2πf | |E*m| és φm

2

log(αT)=a1T²+a2T+a3 | E'm= |E*m|cos(φm)

E'c = f(αT·ω)



3

Relaxációs idők felvétele
$\tau_i = 2 \cdot 10^{i-9}$ [s] i=1,2,...,17

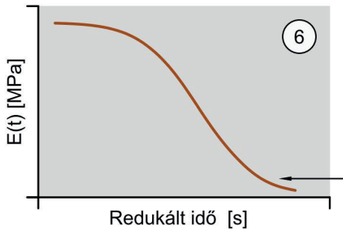
4

Eltérés min.:
Σ E'c-E'p = 0

Tárolási modulus számítása Prony-sorral (E'p)

5

Relaxációs spektrum



6

5. ábra. A relaxációs modulus meghatározásának folyamatábrája

- hőmérsékletek (T): 10°C, 20°C, 30°C;
- frekvenciák (f): 0,1 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 25 Hz.

A meghatározandó ismeretlen Prony-sor anyagparaméterek száma attól függ, hogy hány Maxwell-részmodellt tartalmaz az általános modell. Az anyagállandók meghatározásának egyik közelítő, numerikus módszerének főbb lépései a következők (lásd 5. ábra):

1. Kiindulási adatként a laboratóriumban periódikusan gerjesztett (eltérő f frekvencián és T hőmérsékleten) hengeres próbatestek $|E^*|$ merevség és φ fázisszög értékei szolgálnak.
2. Az (5) és (6) összefüggésekkel felbontjuk a komplex modulust E' valós és E'' képzetes részre.
3. Meghatározzuk E' tárolási modulus mestergörbéjét felhasználva az idő-hőmérséklet szuperpozíció elvét. A teljesen relaxált anyag E_∞ modulusa ismerté válik
4. Becsléssel előre rögzítjük a keresett τ_i relaxációs időket.
5. A még ismertelen E_i spektrumot megkapjuk, ha (22) összefüggést a tárolási modulus mestergörbéjére illesztjük (pl. legkisebb a négyzetek módszerével).
6. Az ismert τ_i, E_∞ és E_i adatok alapján a relaxációs modulust a (19) képlettel számoljuk. A merevségből számítható E' tárolási modulus mestergörbéjét legegyszerűbben egy nemlineáris S-alakú, ún. szigmoid függvénnyel tudjuk megadni (Tóth 2010):

$$\log(E') = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \cdot \log(f_r)}} \tag{23}$$

ahol

E' = tárolási modulus (MPa)
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = regressziós paraméterek
f_r = redukált frekvencia (Hz)

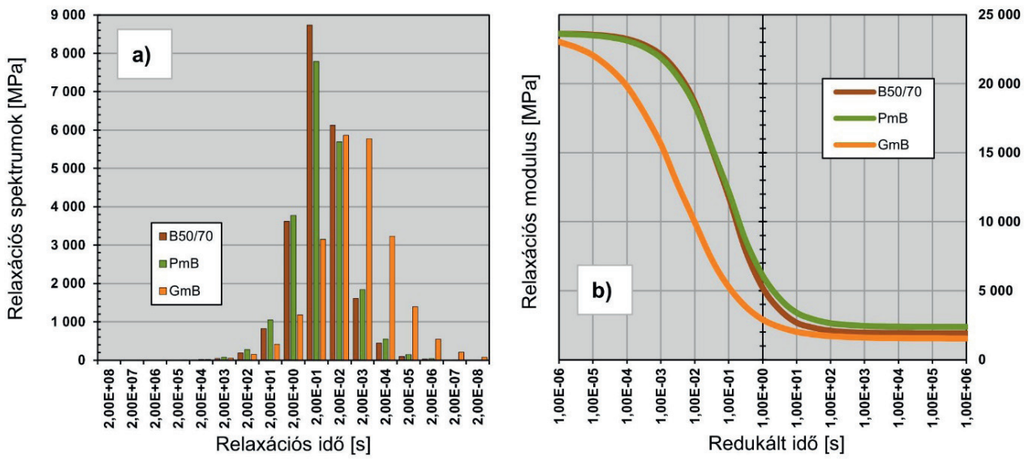
Az egyenletben δ az E' tárolási modulus minimumértéke (azaz $\delta = E_\infty$), a $\delta + \alpha$ az E' tárolási modulus maximum értéke, β és γ pedig a szigmoid-függvény paraméterei. Az idő-hőmérséklet szuperpozíció elv alkalmazásához az α_T eltolási tényezőt egy másodfokú polinommal közelítjük:

$$\log(\alpha_T) = a_1 T^2 + a_2 T + a_3 \tag{24}$$

A tárolási modulus (23) mestergörbéjének illesztése a mérési eredményekre (E'_m) valamilyen iterációs technika segítségével történhet, ahol a keresett paraméterek a hibafüggvény minimumát adják. A számítás egyik fontos eredménye (a mestergörbén túl) a teljesen relaxált anyag E_∞ modulusa.

A kísérleti adatokra illesztett Prony-sor pontosságát nagymértékben befolyásolja a felhasznált Maxwell-részmodellek száma, ami megegyezik a mért frekvenciák számával. Mivel az SPT vizsgálatot 3 hőmérsékleten és 6 frekvencián hajtottuk végre, a tárolási modulus becsült E'_c értékét 3×6, azaz 18 redukált $\omega_r = \alpha_T 2\pi f$ körfrekvenciára tudjuk megadni az eltolási tényezővel.

A keresett τ_i relaxációs idők homogén eloszlását pl. a következő formula segítségével vehetjük fel előre (Zhang, Cui, Gu & Dong 2018):



6. ábra. A három vizsgált aszfaltkeverék vonalas spektruma (a), és relaxáció függvénye (b)

$$\tau_i = 2 \cdot 10^{i-9} \text{ ahol } i = 1{,}2, \ldots, 17 \qquad (25)$$

A (25) alapján 17 elemből álló Prony-sort kell illesztenünk a (23) és (24) képletekkel számított $(\omega_r), E'_c$ adatpontokra, felhasználva a $E'(\omega_r)$ tárolási modulus (22) összefüggését. A minimalizálandó hibafüggvényünk a következőképpen fogalmazható meg:

$$\text{Error} = \frac{1}{17}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(1 - \frac{E'_{p,i}(\omega_r)}{E'_{c,i}(\omega_r)}\right)^2} \qquad (26)$$

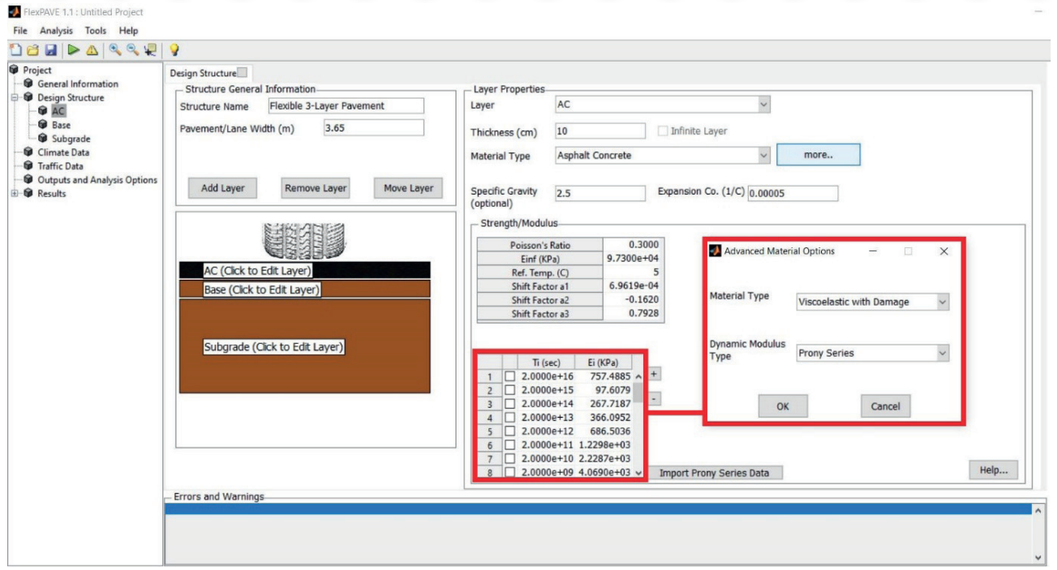
ahol $E'_{p,i}$ a Prony-sorral, az $E'_{c,i}$ pedig a mestergörbével számított tárolási modulus. A hibafüggvény minimalizálásával megkapjuk a τ_i relaxációs időkhöz tartozó E_i paraméterket. Megjegyezzük, hogy az illesztés jósága tovább javítható, ha a τ_i relaxációs időket szintén felvesszük az optimalizálandó paraméterek közé, vagy a tárolási modulus mellet a veszteségi modulust is illesztjük a kísérleti adatokra.

A bemutatott eljárást mind a három vizsgált keverék labortóriumi adatain lefuttattuk, és az eredményül kapott relaxációs spektrumokat és $E(t)$ modulusokat a redukált idő függvényében a 6. ábra mutatja. Jól látható, hogy a konvencionális és a polimerrel modifikált kötőanyagú keverékek nagyon hasonló viselkedést mutatnak, míg a GmB erősen kilóg a sorból. Ez azzal magyarázható, hogy a gumival modifikált keverék kevésbé rideg anyag, mint a másik kettő.

Összegzés

A fentiekben arra tettünk kísérletet, hogy az aszfaltkeverékek viszkoelasztikus tulajdonságát számszerűsítő, a pályaszerkezet-méretezéshez közvetlenül felhasználható input paramétert állítsunk elő. A cikk terjedelmi korlátja viszont nem teszi lehetővé, hogy a részletes modellszámításokra most kitérjünk, ezért csak ígéretet tudunk tenni arra, hogy azt egy következő – ebben a témában harmadik és egyben záró – cikkben fogjuk megtenni. Előzetesen csak felvillantjuk egy amerikai szoftver, a FlexPAVE képernyő képét (7. ábra), ahol jól látszik, hogy választható opció az aszfaltrétegek dinamikus modulusának prony-sorral történő megadása.

Ahogy korábbi cikkünkben is hangsúlyoztuk, most is utalunk rá, hogy annak ellenére, hogy a hétköznapi gyakorlat számára az aszfalkeverékek viselkedésének néhány rutinvizsgálata elégséges, illetve az útpályaszerkezettervezés primér igényei is kielégíthetőek típuspályaszerkezetek választási lehetőségének biztosításával, az aszfaltkeverékeink – összevetve más építőanyagaink anyagvizsgálataival – kutatása meglehetősen elmarad a lehetőségeinktől. Szűkebb szakmai körben ennek belátása talán nem ilyen egyértelmű, és ez a személet sajnos vissza is köszön az útügyi K+F siralmas állapotán, kitapintható koncepciótlanságán. Ha azt elfogadjuk, hogy hídszerkezeteinket ma már méretezük és nem csupán évszázados tapasztalat alapján építjük, akkor az útpályaszerkezetek esetén is meg



7. ábra. A FlexPAVE szoftver kezelőfelületének képernyőmentése

lehetne fontolni, hogy az ún. kísérleti útépítések mellett laboratóriumi kutatások is támogathatóvá válnak a jövőben.

Végül a hídépítés példájánál maradva, „ahogy a dolgok állnak", egy hídszerkezet egyre pontosabb és részletesebb adatigényű modelljéhez az aszfaltburkolat oldaláról a közeljövőben nem tudunk megfelelő információt szolgáltatni, ha nem kezdjük el azonnal fejleszteni a hazai aszfalttechnológiai kutatásokat és az azon alapuló műszaki szabályozást.

Irodalom

Ambrus, K. & Bartha, G. 1999: Tömör emlékeztető néhány aktuális aszfaltmechanikai fogalomra és eljárásra. Közúti és mélyépítési szemle 49 (7–8): 301–9.

Bodor, G. & Vas, L. M. 2000: Polimer anyagszerkezettan. 2. kiad. Budapest: Műegyetemi Kiadó.

Fi, I., Bocz, P., Pethő, L. & Tóth, C. 2012: Útburkolatok méretezése. Szerkesztette István Fi. TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

Gajári, G. 2004: Az aszfalt reológiai jellemzőinek számítása dinamikus hajlítási kísérletből. Közúti és mélyépítési szemle 54 (8): 23–31.

Huang, Y. H. 2004: Pavement Analysis and Design. 2. kiad. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.

Kisgyörgy, L., Tóth, C. & Geiger, A. 2016: Elastic Modulus of Asphalt with Chemically Stabilized Rubber Bitumen. Građevinar 68 (07.): 533–41. https://doi.org/10/gfx3zw.

Md. Yusoff, N. I., Chailleux, E. & Airey, G. 2011: A comparative study of the influence of shift factor equations on master curve construction. International Journal of Pavement Research and Technology 4 (6): 324–36.

Nemesdy, E. 1985: Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai II. Kutatási részjelentés 2. Budapest: BME Útépítési Tanszék, Budapest.

Superpave Fundamentals Reference Manual 2010: NHI Course 131053. Washington DC, USA: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

Tóth, C. 2009: Aszfaltkeverékek viszkoelasztikus viselkedésének jellemzése Huet-Sayegh-modellel. Közlekedésépítési szemle 59 (8): 6–12.

——— 2010: Aszfaltkeverékek mestergörbéjének meghatározása. Közlekedésépítési szemle 60 (2): 14–19.

Tóth, S. 2000: Reológia, reometria. Veszprém: Veszprémi Egyetemi Kiadó.

Van Poel, C. D. 1954: A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data. Journal of Applied Chemistry 4 (5): 221–36. https://doi.org/10/fgmdjp.

Zhang, W., Cui, B., Gu, X. & Dong, Q. 2018: Comparison of Relaxation Modulus Converted from Frequency- and Time-Dependent Viscoelastic Functions through Numerical Methods. Applied Sciences 8 (12): 2447. https://doi.org/10/ggqt2k.

FWD mérések kiértékelését támogató szoftver fejlesztése

Markó Gergely

PhD, Okleveles Építőmérnök,
Szoftverfejlesztő,
gergely.marko@gmail.com

Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a pályaszerkezet-diagnosztika és a mechanikai alapú pályaszerkezet-méretezés területén jelentős kutatási eredmények születtek Magyarországon. Az alábbiakban ismertetett fejlesztés ezen elméleti eredmények mérnöki gyakorlatba ültetését szándékozik elősegíteni egy korszerű, böngészőben futó mérnöki alkalmazás formájában.

Terveink szerint a szoftver grafikus felületén a teherbírási adatok mellett egyéb, a pályaszerkezet állapotával kapcsolatban rendelkezésre álló mérések is megjeleníthetők lesznek. Ilyen adatok lehetnek például a georadar (gpr) mérések eredményei, a pályaszerkezet felületén jelentkező hibák kiterjedése (repedés, kátyú), a vízelvezető árkok, rézsűk állapota. Egy ilyen „technológiai hossz-szelvény" rendszerezetten jeleníti meg a felújításra tervezett út állapotára jellemző adatokat.

2. Elméleti alapok

2.1. A behajlási teknő alakja

A hajlékony útburkolatok terhelés hatására történő alakváltozását ejtősúlyos berendezéssel (FWD) mérik. A mérés során a burkolat alakváltozását több szenzorral, nagy pontossággal rögzítik. A szenzorok maximális függőleges elmozdulásaira illesztett függvény egy úgynevezett „behajlási teknőt" rajzol ki.

Számos kutatás bizonyítja, hogy a behajlási teknő alakjának komplex vizsgálata megbízhatóbb eredményt szolgáltat, mint kizárólag a központi behajlás használata [1]. Az ejtősúlyos teherbírásmérésekből származtatott mechanikai paraméterek meghatározására többféle eljárás is ismert. A szoftver az FWD mérési pontokra egy jól simuló függvényt illeszt, majd a függvény alakjából számítja a mechanikai jellemzőket.

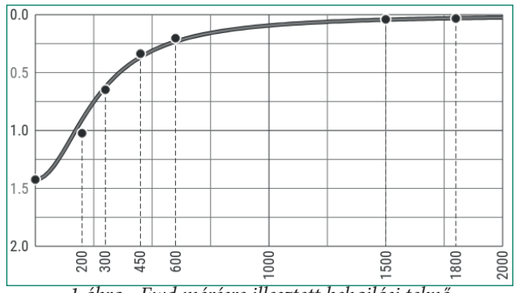
A behajlási teknő alakját az alábbi függvénnyel közelítjük [3]:

$$D(x) = \frac{D_0}{c\left(\frac{x}{d}\right)^2 + 1}$$

ahol :

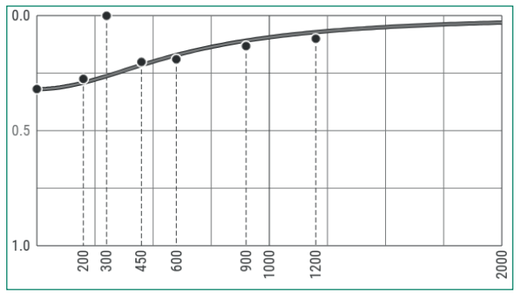
$D_{(x)}$→-A pályaszerkezet süllyedése a terhelés helyétől x mm-re [mm]
D_0→ - A terhelés helyén mért függőleges elmozdulás [mm]
d → - A terhelt tárcsa átmérője (300 mm)
c → - A behajlási teknő alakját jellemző alaktényező.

A fenti egyenletből a központi behajlást (D_0) a mérés során rögzítik, a terhelt tárcsa átmérője ismert. A szoftver a c alaktényező meghatározásakor a szenzorok adataira a lehető legjobban illeszkedő függvényt keresi.



1.ábra - Fwd mérésre illesztett behajlási teknő (D_0=1,42 mm, c=1.285)

A mérési szelvényben kialakuló behajlási teknőt jellemző c alaktényező meghatározásakor a szenzorok adataira a szoftver úgy illeszti a fent ismertetett függvényt, hogy a kiugró méréseket (pl. hibás szenzor) kiszűri.



A 3. szenzor hibás mérése nem befolyásolja a behajlási teknő alakját (D_0=0.32 mm, c=0.215)

A (D_0, c) értékpárok által meghatározott függvény előnyei az FWD szenzorok által rögzített elmozdulásokkal történő közvetlen számítással szemben:

- Szenzorhibák kiszűrése.
- Mérési zaj csökkentése.
- A c alaktényező mechanikai jelentőséggel bír, a függvény kielégíti a pályaszerkezet modellezésére használt rugalmasságtani összefüggések peremfeltételeit [5].

2.2. A minimális görbületi sugár

A behajlási teknő alakjának ismeretében számítható a pályaszerkezet felületének minimális görbületi sugara. A pályaszerkezet felületén a minimális görbületi sugár a terhelés helyén alakul ki, értéke a behajlási teknő alakjából az alábbiak szerint számítható [3]:

$$R_0 = \frac{2r^2}{D_0 c}$$

ahol :

R_0→ - Minimális görbületi sugár [mm]
D_0→ - A terhelés helyén mért függőleges elmozdulás [mm]
r → - A terhelt tárcsa sugara (150 mm)
c → - A behajlási teknő alaktényezője.

A minimális görbületi sugár jelentőségét az adja, hogy ismeretében számítható az aszfalt rétegek alján keletkező megnyúlás.

2.3. Az aszfalt rétegek alján keletkező megnyúlás

A pályaszerkezet az ismétlődő terhelés hatására alakváltozást szenved, amely az aszfalt rétegek alján megnyúlásként jelentkezik. Ez az ismételt megnyúlás vezet az aszfalt fáradásához, amely végül a pályaszerkezet tönkremeneteléhez vezet.

Meglévő pályaszerkezet megnyúlásának ismeretében következtethetünk a pályaszerkezet hátralévő élettartamára [2]. Erősítő réteg tervezésekor a beépített erősítő réteg megengedett megnyúlását, mint követelményt tudjuk felhasználni az új réteg szükséges vastagságának meghatározásához.

A megnyúlást az alábbiak szerint számítjuk [3]:

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} = cD_0\frac{h}{4r^2}$$

ahol :

ε →- Fajlagos alakváltozás [µstrain, mm/m]
h →- A kötött (aszfalt) rétegek vastagsága [mm]
R_0→ - Minimális görbületi sugár [m]

2.4. A meglévő pályaszerkezet modellezése kétrétegű rendszerrel

A mechanikai alapokon történő pályaszerkezet-megerősítés méretezéséhez a meglévő szerkezetet leegyszerűsítve, mint egy kétrétegű rendszer modellezhetjük. Az aszfalt burkolati rétegeket összevonjuk, és egy "kötött" réteggel helyettesítjük. A szemcsés alapot és a földművet pedig összevontan, mint egy "nem kötött" réteg szerepeltetjük a modellben.

Ez a felosztás, habár túlzottan egyszerűsítettnek tűnhet, megfelelő alapot biztosíthat az erősítő réteg vastagságának méretezéséhez [4]. A modell rétegeinek rugalmassági modulusait – a részletek mellőzésével – az alábbiak szerint számíthatjuk [5]:

$$K = 0.0131\left[h^{-1.95}\left(\frac{1.9}{c} - 1\right)\right]^{1.428}$$

ahol:→ K → - A rétegek modulusának aránya

$$E_2 = 111.73 \cdot D_0{}^{-0.994} \cdot c^{0.629}$$

ahol:→ E_2→ - A szemcsés réteg rugalmassági modulusa [MPa]

$$E_1 = K \cdot E_2$$

ahol:→ E_1→ - A kötött réteg rugalmassági modulusa [Mpa]

2.5. A meglévő pályaszerkezet modellezése három rétegű rendszerrel

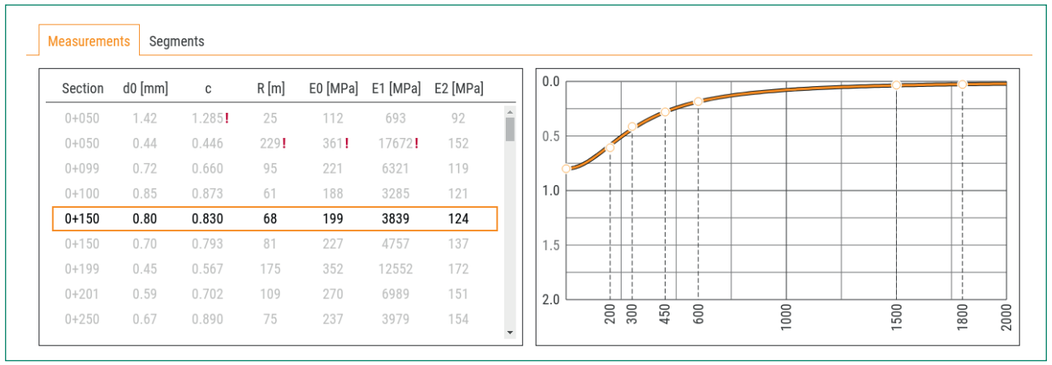
Amennyiben a megerősítés tervezését egy, a vizsgált pályaszerkezet rétegrendjét jobban közelítő modellre szeretnénk alapozni, akkor az ismertetett regressziós eljárás helyett az ún. back-calculation módszert kell alkalmaznunk. A fejlesztés a back-calculation módszer jelen szoftverbe illesztésére elkezdődött, demonstrálható eredményeket egyelőre nem tudunk felmutatni.

3. A fejlesztés alatt álló szoftver bemutatása

3.1. Teherbírási paraméterek meghatározása a mérési szelvényekben

A KUAB mérések importálását követően a szoftver automatikusan elvégzi a teher- és hőmérséklet-korrekciókat, majd minden mérési pontban számolja az ismertetett teherbírási paramétereket. Az eredményeket táblázatban, illetve a behajlási teknők grafikus ábrázolásában is megtekinthetjük.

A mérési sorozat elemzésével a számított paraméterek közül a szoftver kiemeli a kiugró értékeket, amelyek mérési hibára vagy helyi anomáliára (pl. alapréteg vagy földmű átázása, aszfalt réteg teherbírásának elvesztése stb.) utalhatnak. A táblázatos megjelenítéskor a kiugró értékek mellett felkiáltójelet látunk. Ezen kiugró értékek elbírálását a georadar mérések egyidejű vizsgálata segítheti.



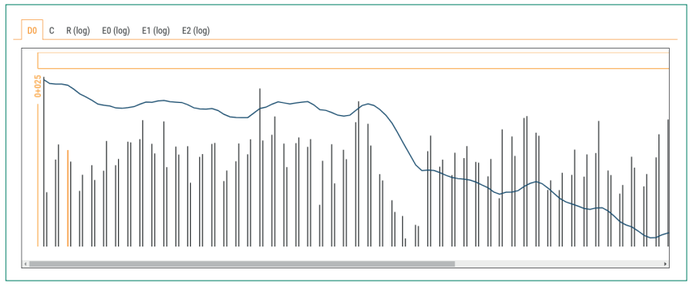
2.ábra - A kijelölt szelvényben kialakuló behajlási teknő és a számított teherbírási paraméterek

3.2. Teherbírási paraméterek ábrázolása a hossz-szelvényen

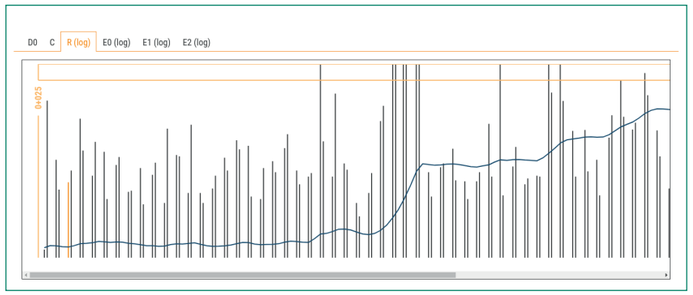
A számított teherbírási patamétereket hossz-szelvényen is ábrázoljuk. A teherbírási paraméterek egymástól függetlenül vizsgálhatók. A táblázatban kijelölt mérési hely a hossz-szelvényen eltérő színnel ki van emelve. A vizsgált mérési pontot a hossz-szelvényen is ki tudjuk jelölni, a táblázatos és grafikus adatmegjelenítés szinkronizált.

A hossz-szelvényen a mérési pontokban értelmezett egyedi értékek mellett egy folytonos vonallal az ún. kumulatív szumma grafikonja is látható. Ez a függvény az egyedi értékek átlagtól való eltérését összegzi, amely az adatok trendjét jellemzi. A kumulatív szumma azonos meredekségű szakaszai alapján lehet az azonos teherbírású szakaszokat lehatárolni.

A teherbírási paraméterek közül azokat, amelyek értékei több nagyságrendet is átfoghatnak, logaritmikus léptékben ábrázoljuk.



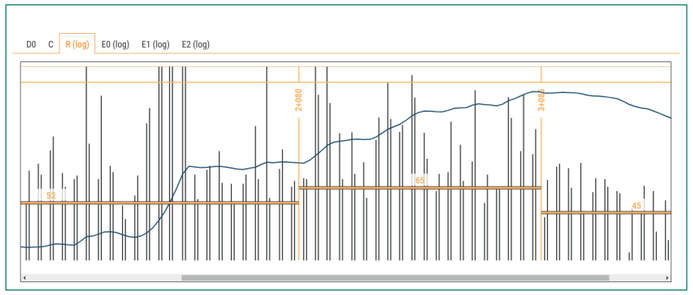
3.ábra - Központi behajlás a hossz-szelvényen



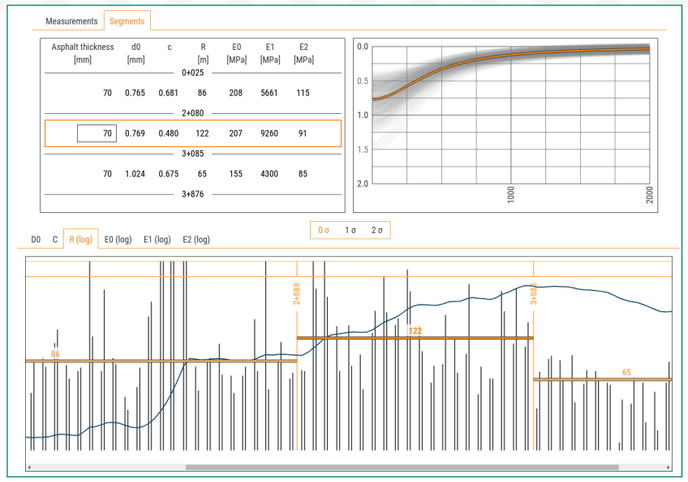
4.ábra - Görbületi sugár a hossz-szelvényen (logaritmikus ábrázolás)

3.3. Azonos teherbírású szakaszok lehatárolása

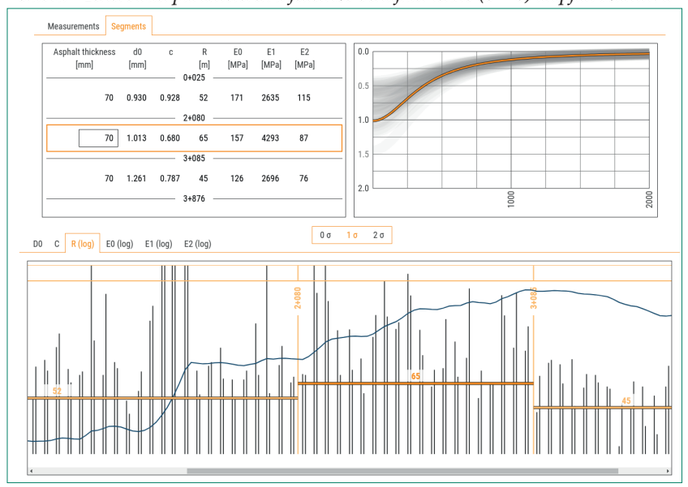
A felújítás tervezésekor a tervezett beavatkozást technológiailag kezelhető hosszúságú szakaszokon egységesen adjuk meg. Ehhez le kell tudnunk határolni az azonos teherbírásúnak tekintett szakaszokat, majd ki kell számolnunk a szakaszokra jellemző teherbírási paramétereket. A homogén szakaszok lehatárolásában segítséget jelenthet a georadar (gpr) mérések egyidejű ábrázolása.



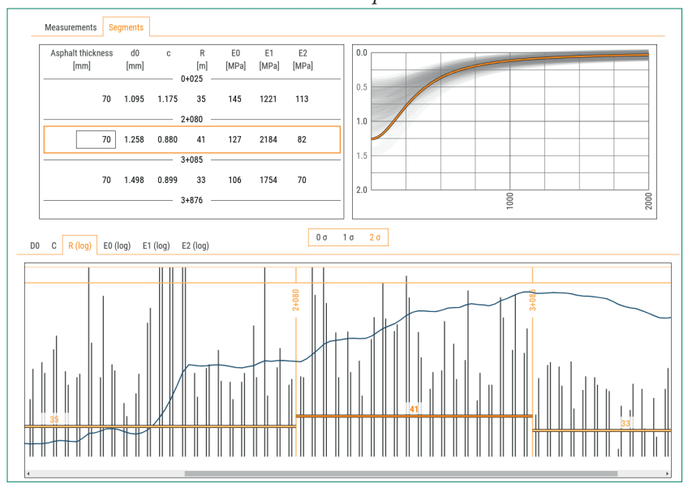
5.ábra - Homogén szakaszok a hossz-szelvényen



6.ábra - Teherbírási paraméterek a jellemző behajlási teknő (σ = 0) alapján számítva



7.ábra - Mértékadó teherbírási paraméterek σ = 1 esetén



8.ábra - Mértékadó teherbírási paraméterek σ = 2 esetén

A homogén szakaszok lehatárolása a hossz-szelvény grafikus felületén történik. A hossz-szelvény fejlécén tudjuk új szakasz határát beszúrni, illetve a meglévő szakaszhatárokat törölni. A szakaszhatárok szelvényét a későbbiek során tetszés szerint módosíthatjuk.

3.4. Homogén szakaszok mértékadó teherbírási paramétereinek számítása

A felújítás tervezéséhez az azonos teherbírásúnak tekintett szakaszokra mértékadó teherbírási paramétereket kell meghatározni. A mértékadó paraméterek meghatározása az egyedi méréseknél ismertetett elvet követi, ahol a paramétereket a behajlási teknő alakjának (D_0 és c) ismeretében számítottuk. A szakaszra jellemző behajlási teknőt a szakaszon mért D_0 és c értékek átlagolásával számítjuk, a kiugró értékek szűrésével.

Az így előállított átlagos behajlási teknő a mérések 50%-a esetében kedvezőbb teknőalakot eredményez, amely alulméretezéshez vezetne. Ennek elkerülése érdekében az átlagos teknőalakot a mért értékek szórásának 1 vagy 2 -szeresével "elrontjuk".

(A mértékadó érték 1σ *esetén a mért adatok 68, 2σ esetén 95 %-ánál kedvezőtlenebb.)*

3.5. A mechanikai paraméterek exportálása

Az egyes mérési pontokban számított mechanikai paramétereket, valamint a homogén szakaszok jellemzőit szöveges formátumban exportálhatjuk, így azok táblázatkezelő szoftverrel további adatfeldolgozásra alkalmassá válnak. Terveink szerint a grafikonok és behajlási teknők AutoCAD dxf formátumban grafikusan is exportálhatók lesznek.

3.6. Erősítő réteg méretezése (tervezett funkció)

A mértékadó behajlási teknő ismeretében a homogén szakaszokra előállítható a meglévő pályaszerkezet mechanikai modellje. A mechanikai modell lehet az ismertetett egyszerűsítő kétrétegű, vagy az összetettebb, back-calculationt igénylő háromrétegű modell.

A meglévő aszfalt kopóréteg marással történő profilozása, mint teherbírás-csökkenés is figyelembe vehető, a számított rugalmassági modulusú réteg modellbeli vastagságának csökkentésével.

Az erősítő réteg méretezése a meglévő rétegek mechanikai modelljének kiegészítésével történik, úgy, hogy az új réteg szilárdságtani paramétereit a beépítésre tervezett aszfalt típusától függően választjuk meg. Az erősítő réteg vastagságának ellenőrzése a mechanikai modell segítségével történik, úgy, hogy az erősítő réteg alján számított megnyúlást összehasonlítjuk a választott aszfaltnak a tervezési forgalom mellett megengedett megnyúlás értékével. Megfelelő az erősítő réteg vastagsága, ha a modell által számított megnyúlás kisebb, mint az adott anyagminőség és forgalom melletti megengedett megnyúlás.

3.7. A fejlesztés alatt álló szoftver elérhetősége

A webes technológiának köszönhetően a szoftver a fejlesztés alatt folyamatosan tesztelhető, a javítások, új funkciók fejlesztése nyomon követhető.

A szoftver jelenleg a
https://pavement.macadam.hu címen érhető el.

A program tesztelési céllal automatikusan betöltött mérési állományokkal indul. Ezek a mérések tetszőleges KUAB mérési fájlokkal lecserélhetők.

4. Köszönetnyilvánítás

A fejlesztést a RODEN Mérnöki Iroda Kft. és a BME Út és Vasútépítési Tanszéke támogatja.

5. Felhasznált irodalom

[1] Tóth Csaba:
A teherbíró képesség meghatározásának ellentmondásai és lehetőségei.
Közúti és Mélyépítési Szemle 57. évfolyam 8. szám, p. 14-20 (2007)

[2] Tóth Csaba, Tóth József:
Útpályaszerkezetek roncsolásmentes diagnosztikai lehetőségei.
Közúti és Mélyépítési Szemle 58. évfolyam 5-6. szám, p. 10-15 (2008)

[3] Primusz Péter, Tóth Csaba:
A behajlási teknő geometriája.
Közlekedésépítési Szemle 59. évfolyam 12. szám, p. 18-24 (2009)

[4] Primusz Péter, Markó Gergely:
Kétrétegű pályaszerkezet-modellek paramétereinek meghatározása FWD mérések alapján.
Közlekedésépítési szemle 60. évfolyam 7. szám, p. 8-13 (2010)

[5] Primusz P., Markó G., Péterfalvi J., Tóth Cs:
A pályaszerkezet merevségének hatása a behajlási teknő alakjára.
Útügyi Lapok 1. évfolyam 1. szám, p. 28-43 (2013)

Porózus kőanyagok anyagszerkezeti vizsgálata

Géber Róbert[1], Kocserha István[1], Simon Andrea[1], Udvardi Bella[2]

[1]egyetemi docens, [2]PhD hallgató

Dr. Géber Róbert

egyetemi docens
Miskolci Egyetem, Kerámia-és Polimermérnöki Intézet

Abstract

Jelen kutatómunka aszfaltkeverékekben felhasznált porózus ásványi kőanyagok vizsgálatával foglalkozik. A kutatás során magyarországi lelőhelyekről származó kövek 8/11 és 11/22 frakcióit vizsgáltuk meg különböző – az aszfalttechnológiában nem használt – méréstechnikai módszerekkel. Célunk a kőanyagok belső szerkezetének tanulmányozása volt, különös tekintettel azok porozitásának, a pórusok típusainak, méretének és eloszlásának meghatározásával. A kutatómunka célja a nagy porozitású kőanyagok gazdaságos alkalmazhatóságának elősegítése a kőanyagok belső szerkezetének megismerése által. Jelen cikk ismerteti a vizsgálati módszereket, valamint néhány vizsgálati eredményt is.

1. Bevezetés

Magyarországon számos kőbánya áll jelenleg is művelés alatt, amelyek biztosítják az útépítés számára a szükséges ásványi adalékanyagokat. A kőanyagok összetételükben, szerkezetükben, tulajdonságaikban a lelőhelyek földrajzi elhelyezkedéséből és keletkezési módjukból adódóan lelőhelyenként és rétegenként is eltérnek egymástól. Abban az esetben, amikor a megfelelő kőzetfizikai tulajdonságú kőanyagok porózusak, a gyakorlati tapasztalat szerint bitumenfelvételük jelentősen magasabb lesz, így felhasználásuk korlátozottá válik. Ez nemcsak pénzügyi veszteség, hanem anyagveszteség is, mivel a kőanyag pórusait a bitumen nagyobb részben telíti. Ennek következtében az aszfalt élettartama során már nem hasznosuló felesleges bitumenmennyiség kerül felhasználásra. Az ilyen aszfaltot értékes pályaszerkezeti rétegbe beépíteni nem célszerű.

Az előbbiekben felsorolt hátrányok mellett azonban érdemes megvizsgálni a porózus kőanyagok alkalmazásának lehetséges előnyeit is. A porózus kőanyagot megfelelően hasznosító aszfaltgyártási technológiával a kőanyag alacsonyabb beszerzési ára mellett a porozitás miatti alacsonyabb sűrűségből adódóan kisebb tömegű keverék állítható, ezáltal megtakarítás érhető el.

Az ásványi anyagok felületén lévő repedések, nyílt pórusok és kapillárisok mérete és mennyisége nagymértékben befolyásolja a bitumennel kialakított kötés erősségét. Amikor a bitumen és a porózus ásványi anyag a keverési hőmérsékleten kapcsolatba lép egymással, a bitumen folyékony komponensei nemcsak az ásványi anyag felületén, hanem a pórusokban és kapillárisokban is (szelektíven) lekötődnek. Ez az adszorpciós jelenség azonban alkotórészektől függően különböző módokon mehet végbe [1]. Az aszfaltén, mint a legnagyobb felületaktív komponens a szemcse felületén adszorbeálódik. A felületen előforduló kisebb pórusokat a bitumen gyantás része tölti ki, míg a legkisebb aktivitású olajok a szemcsék kapillárisaiba hatolnak be.

Groenzin és Mullins [2] kutatásuk során az aszfaltén részecskék méretét vizsgálták és arra a következtetésre jutottak, hogy az aszfaltén részecskék mérete 10 – 20 Å (=1–2 nm=0,001–0,002 µm). Ennek ismeretében az is feltételezhető, hogy a szelektív diffúzió során az aszfaltén részecskék tulajdonképpen a legkisebb pórusokba is képesek bejutni. Elmondható tehát, hogy a kőanyagok felületi jellege, porozitása (a pórusok mérete és elhelyezkedése) a bitumennel való kötést erősen befolyásolja. A témához kapcsolódóan kevés számú szakirodalom és kutatási eredmény található, így jelen kutatás is igyekszik hozzájárulni ezen ismeretek bővítéséhez.

A vizsgálatok célja az aszfalttechnológiában nem használt vizsgálati módszerek segítségével feltérképezni a különböző porózus kőanyagok mikroszerkezeti sajátosságait, különös tekintettel azok porozitására. Az elvégzett vizsgálatokkal hozzá kívánunk járulni a porózus kőanyagok hasznosításához, az aszfaltkeverékek gyártástechnológiájának fejlesztéséhez. Emellett célszerű lenne, ha a rendelkezésre álló ásványvagyonban jelen lévő porózus kőanyagok is minél nagyobb volumenben hasznosításra kerülnének, kihasználva azok előnyös tulajdonságait.

2. A vizsgálati anyagok és módszerek bemutatása

Kutatómunkánk során magyarországi lelőhelyekről (Szob, Dunabogdány és Kisnána) származó andezit kőanyagok 8/11 és 11/22 frakcióit vizsgáltuk meg. A kisnánai bányaüzemből két mintavételből származó kőanyagot is megvizsgáltunk. Az egyik egy évtizeddel korábban jövesztett és azóta már kitermelésre került bányafal mintája (a továbbiakban: „Kisnána régi"), míg a másik az újonnan művelt bányarétegből származó kőanyagminta (a továbbiakban: „Kisnána új") volt. A vizsgálatok során referenciaanyagnak tekintettük a tállyai andezitet, emellett a tatabányai mészkövet is megvizsgáltuk. Fontos kiemelni, hogy jelen kutatáshoz kifejezetten olyan kőanyagfrakciókat használtunk fel, amelyek az eddigi aszfaltgyártási tapasztalatok alapján nagyobb bitumenfelvétellel rendelkeztek. Ebből adódóan, illetve az eddigi ismeretek szerint ezeket a kőanyagokat a technológusok magasabb pórustartalmú kőanyagoknak feltételezték. Az anyagválasztás célja tehát, hogy a magas pórustartalmú kőanyagok póruseloszlása, pórusmérete és kötőanyag felvétele minél kontrasztosabban vizsgálható legyen az alacsonyabb pórustartalmú kőanyagokhoz viszonyítva.

Megjegyezzük, hogy nem létezik olyan vizsgálati módszer, amely egy adott anyag összes pórusát – mérettől függetlenül – képes meghatározni. Ezért a különböző pórusméret-tartományok vizsgálatához is különböző méréstechnikai (mikroszkópos vizsgálatok, víz/higanytelítéses, valamint gázadszorpciós) módszerek alkalmazhatók.

A vizsgálatok előtt a kőanyagokat desztillált víz segítségével többször átmostuk, majd laboratóriumi szárítószekrénybe helyezve 105 °C-os hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk.

A kőanyagok felületi jellegének, mikroszerkezetének vizsgálatát Hitachi TM-1000 típusú pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning electron microscope, SEM) segítségével végeztük el. A berendezés – a hagyományos optikai fénymikroszkópok nagyításához képest is lényegesen nagyobb – akár 10 000-szeres nagyítást is lehetővé tesz. A műszerrel megjeleníthetők még az 1 µm-nél kisebb (ún. szubmikronos) pórusok is, emellett lehetőség van a pórusok geometriájának, kiterjedésének tanulmányozására, valamint méretüknek digitális úton történő meghatározására is. A vizsgálatokat nemcsak kőanyagokon, hanem a belőlük kimunkált csiszolatokon is elvégeztük. A csiszolatok elkészítéséhez a kőanyagok 11/22-es frakciót használtuk fel. Ily módon lehetőségünk nyílott a kőanyag belsejében lévő pórusok tanulmányozására is. A porozitás meghatározása két módszerrel is lehetséges:

Víztelítéses porozitásvizsgálat: a nyílt (látszólagos) porozitás meghatározását –, illetve vízfelvevő képességének (vagy másnéven vízfelvételének) meghatározását, nagy mintaszám vizsgálatával határoztuk meg, egyszerű tömegmérések alapján. 100 db kőzetszemcsét választottunk ki, melyet a vizsgálatok során egyedileg azonosítottunk (1. ábra).

Az egyedi szemcsék tömegét (tömegállandóságig történő szárítás után) analitikai mérlegen határoztuk meg, majd zárható, műanyag tárolókban egyesével elkülönítve elhelyeztünk. A tárolódobozok felületén furatokat készítettünk, elősegítve a víz mintatartóba történő szabad beáramlását, majd 48 órára desztillált vízbe merítettük azokat a minták vízzel telítése érdekében.

A meghatározott tömegek ismeretében a vízfelvevő képességet (1.) és a látszólagos porozitást (2.) az alábbi összefüggésekkel határoztuk meg:

$$V_k = \frac{m_v - m_2}{m_2} \times 100;[\%] \quad (1.)$$

$$P = \frac{m_v - m_2}{m_v - m_3} \times 100;[\%] \quad (2.)$$

ahol:

- V_k: a vízfelvevő képesség [%],
- P : a látszólagos porozitás [%]
- m_v: a vizsgálati minta tömege a vízzel történő telítés után [g],
- m_2: a minta tömegállandóságig szárított tömege [g],
- m_3: a vizsgálati minta vízben *(hidrosztatikai mérleggel)* mért tömege [g].

Higanyos porozimetria *(Mercury intrusion porosimetry, MIP)*: egyedi kőzetszemcsék vizsgálatát teszi lehetővé. A vizsgálathoz olyan folyadékra van szükség, amely nem lép reakcióba a mintával. A higany, mely egy nemnedvesítő folyadék (*azaz a nedvesítési szöge: Θ>90°*), ha érintkezésbe kerül egy szilárd, porózus anyaggal, spontán nem, csak a növekvő külső nyomás hatására képes behatolni az anyag nyílt (*hozzáférhető*) pórusaiba. A nyomás (*max. 400 MPa*) és a bepréselt higany térfogata ismeretében az ún. *Washburn-egyenlet* (3.) segítségével meghatározható a porozitás (százalékos) mértéke, valamint pórusméret-eloszlása a 0,004 µm – 120 µm tartományban (*mezopórusok tartománya*).

1. ábra. Az egyedileg azonosított kőzetszemcsék víztelítéses porozitásvizsgálatához használt tárolóedények

$$d = \frac{-4 \cdot \gamma \cdot \cos(\epsilon)}{p} \quad (3.)$$

ahol:

- d: pórusátmérő [nm],
- Θ: nedvesítési szög [141,3°],
- γ: felületi feszültség [480 nN/m],
- p: abszolút higanybesajtolási nyomás [kg/cm2].

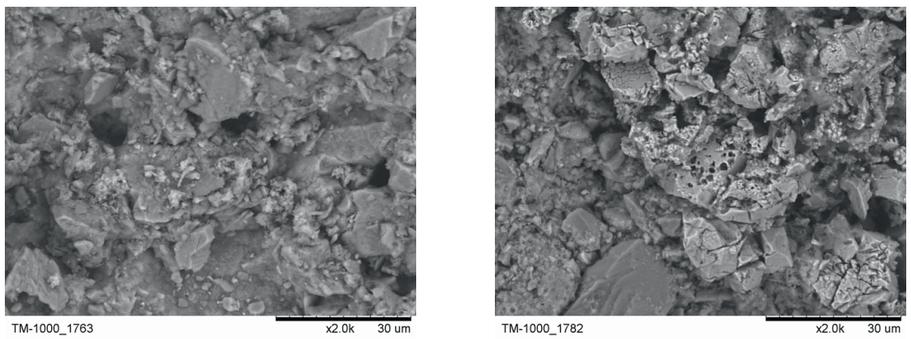
A 8/11 frakciójú egyedi szemcsék nyílt porozitásának vizsgálatát Thermo Scientific gyártmányú, PASCAL 140 (kisnyomású egység) és PASCAL 440 (nagynyomású egység) [3, 4, 5] típusú berendezésekkel végeztük el. Mivel a vizsgálat térfogatmérésen alapszik, így a minta tömegének és sűrűségének ismerete elengedhetetlen. A legpontosabb adatok meghatározása érdekében ezért minden egyes kőzetszemcse valódi sűrűségét meghatároztuk, melyhez Quantachrome gyártmányú UltraPyc 1200e típusú gázpiknométert használtunk.

Az ásványi anyagok fajlagos felülete fontos jellemző, mivel értéke iránymutatást adhat az aszfaltkeverék gyártása során felhasználandó bitumen mennyiségére is. Ha a kőanyag nagy fajlagos felülettel rendelkezik, akkor a keverés során beadagolt bitumen mennyisége is megnő. A vizsgálatokat ömlesztett anyaghalmazon, N2 gáz felhasználásával, gázadszorpciós módszerrel végeztük el a volumetrikus elven működő Micromeritics TriStar 3000 fajlagos felületmérő berendezés segítségével. A folyamat során állandó hőmérsékleten a nyomás fokozatos növelése mellett a gázmolekulák a szemcse felületén megkötődnek (adszorpció). A teljes felületi telítődés végén a gázmolekulákat a nyomás fokozatos csökkentésével eltávolítjuk (deszorpció), amely során az ún. adszorpciós és deszorpciós izotermák rögzítése történik meg. A vizsgálat közben rögzített mérési pontok ismeretében a BET-féle fajlagos felületet (Specific Surface Area, SSABET), valamint a Barrett-Joyner-Halenda (BJH)-féle mikroporozitást (1,7 nm–300 nm; mikropórusok tartománya) határoztuk meg [6, 7, 8].

A belső anyagszerkezet, pórusrendszer (zárt pórusok, kapillárisok, repedések) vizsgálatához YXLON FF35 [11] típusú duál csöves (azaz 2 db röntgencsővel működő) computer tomográfot (CT) használtunk. A CT berendezés előnye, hogy képes kimutatni a belső anyagfolytonossági hibákat (repedéseket, pórusokat), illetve a rendszámon alapuló kontrasztkülönbségeket (jelen esetben a különböző sűrűségű kőzetalkotó ásványokat). A CT vizsgálat során a mintát függőleges helyzetben, egy kis mennyiségű speciális ragasztó segítségével helyeztük el a forgatható manipulátorasztalon. A mintát az asztal segítségével kis szögben léptetve körbe forgattuk, miközben lépésenként röntgensugárral átvilágítva „beszkenneltük". A detektorral rögzített felvételek felhasználásával létrehoztuk a minta pontos 3 dimenziós modelljét, melyben a 6 µm-nél nagyobb zárt pórusokat, illetve azok térfogati megoszlását is feltártuk (Megj.: a CT térbeli felbontóképessége alapján a vizsgált 8/11-es frakciók esetében elméletben csak a 6 µm-nél nagyobb anyaghibák, pórusok jeleníthetők meg).

3. Eredmények bemutatása

A kőanyagok pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatának eredményeit a 2. ábra mutatja be.

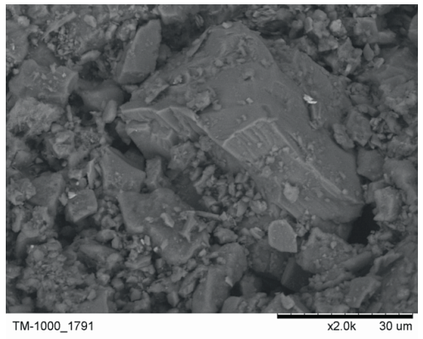


a) Tatabánya mészkő

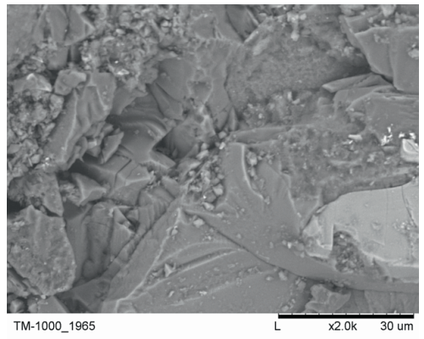
b) Tállya andezit

c) Szob andezit

d) Dunabogdány andezit



e) Kisnána andezit - régi

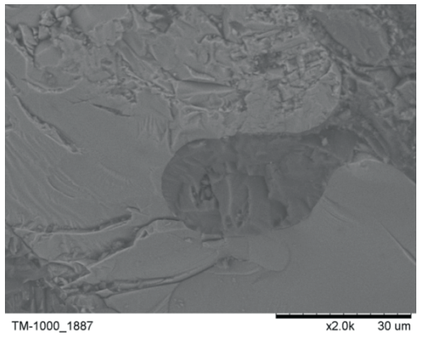


f) Kisnána andezit - új

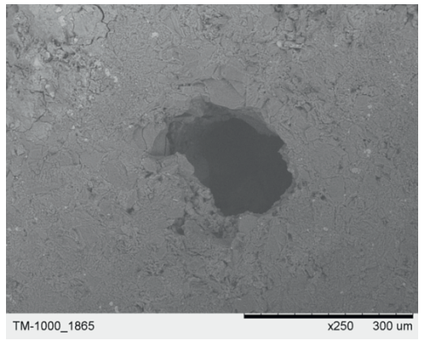
2. ábra. Kőanyagok pásztázó elektronmikroszkópos felvételei (N=2000 X)

A minták felületén elhelyezkedő, különböző méretű szemcsék, valamint a (nyílt) pórusok jelenléte és jellege is jól megfigyelhető. A pórusok formája jellemzően körszerű, vagy ellipszis geometriával írható le, melyek mérete néhány µm-től egészen néhány száz µm-ig változik. A nagyobb pórusok mellett a 10 µm alatti pórusok mennyisége minden kőanyag esetén jelentős. Pórusokat, repedéseket nem kizárólag a kristályok kapcsolódásainál, hanem azok felületén is megfigyeltünk.

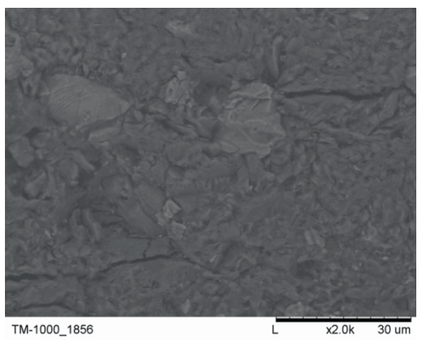
A csiszolatok vizsgálatával az anyagon belüli pórusrendszer jellegét is megfigyelhettük. A 3. ábra néhány jellemző csiszolati felületet mutat be.



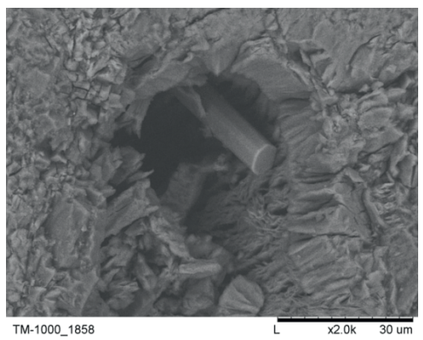
Tállyai andezit (N=2000 X)



Dunabogdány andezit (N=250 X)



Szob andezit (N=2000 X)



Szob andezit (N=2000 X)

3. ábra. Kőanyagok csiszolatainak néhány pásztázó elektronmikroszkópos felvétele

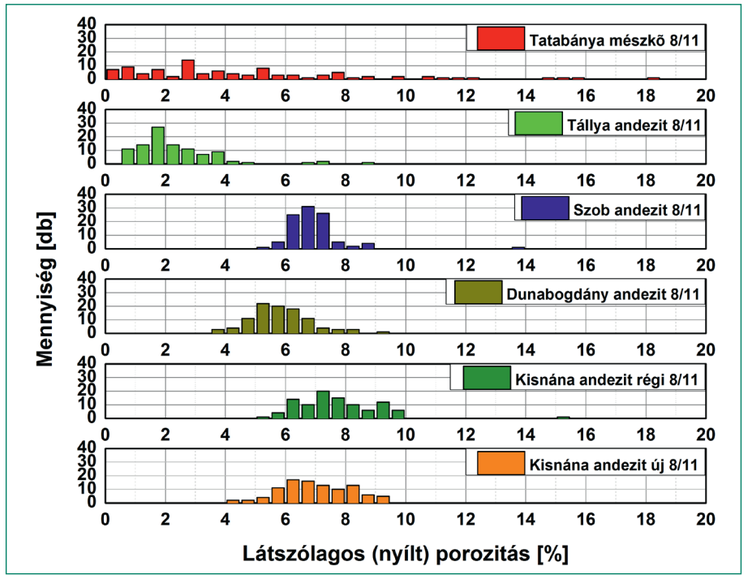
A felvételek alapján általánosságban elmondható, hogy a kőanyagok belső szerkezetében a nagyobb kiterjedésű pórusok mellett repedéshálózatok is előfordulnak, melyek szélessége néhány (*1-5 µm*) mikrométer. Emellett speciális formájú pórusokat is feltártunk, a 3. ábra a) SEM felvétele egy ún. „tintásüveg" típusú pórus (*szűk pórusnyílás, tág pórustérfogat*) jellegzetes formáját szemlélteti.

A látszólagos porozitás vizsgálatához kiválasztott kőzetszemcsék alakja és mérete kőanyag típusonként változó. Egyaránt vizsgáltunk hosszúkás, hegyes, illetve gömbszerű szemcséket is. A nagyobb tömegű egyedi szemcsék nem feltétlenül rendelkeznek kisebb porozitással. Az egyedi kőzetminták tömege és vízfelvevő képessége, illetve látszólagos porozitása között sztochasztikus kapcsolat áll fenn, azaz egyértelmű függvénykapcsolat nem határozható meg. A nagy mintaszám vizsgálata lehetővé tette a látszólagos porozitás eloszlásának meghatározását is (*4. ábra*) 100 db egyedi kőzetszemcse esetén. Típusonként eltérő (*szűkebb, vagy szélesebb*) eloszlások jellemezték a kőanyagokat. Egyes esetekben a vizsgált 100 db kőzetszemcse között előfordult 1-2 olyan darab is, amely az adott kőanyag átlagos látszólagos porozitásától nagyobb porozitással rendelkezett. Ilyen kiugró értékek szinte mindegyik kőanyag típus esetén megfigyelhetők voltak, ezek azonban szignifikánsan nem befolyásolták a teljes kőanyaghalmaz átlagos látszólagos porozitását. Az eredmények a tállyai andezit esetén mutatták a legkisebb látszólagos porozitást, így a kőanyag referenciaként történő kiválasztása a kutatás szempontjából jó választásnak bizonyult. Ettől néhány százalékkal magasabb értéket mutat a többi kőanyag. A „*Kisnána régi*" mintához képest a látszólagos porozitás csökkenése figyelhető meg a „*Kisnána új*" kőanyag esetén.

A vizsgált kövek átlagos vízfelvevő képessége 0,7 % – 3,72 % között, az átlagos látszólagos porozitás pedig 1,81 % – 9,5 % között változott. Ugyanazon kőanyag esetén a 8/11 és 11/22 frakciók vízfelvevő képessége, valamint látszólagos porozitása között jelentős különbséget nem tapasztaltunk.

Az 5. ábra az egyedi kőzetszemcsék higanyporozimetriás vizsgálatainak néhány eredményét, a minták pórusméret-eloszlását mutatja be. Megjegyezzük, hogy a kutatómunka során kőanyagonként több minta párhuzamos vizsgálatára került sor, ugyanakkor – jelen cikk terjedelmi korlátai miatt – alább csak egy-egy diagramot ismertetünk. A diagramok jól szemléltetik a különböző méretű pórusok mennyiségi megoszlását egy adott pórusátmérő tartományban.

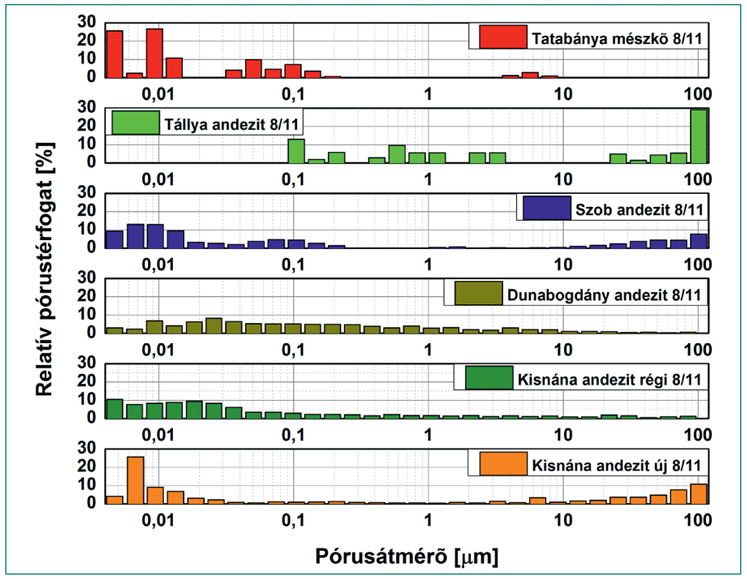
Ezek alapján megfigyelhetünk:
1) többmóduszú eloszlást, amely nagy mennyiségben tartalmaz szubmikronos pórusokat;
2) többmóduszú pórusméret-eloszlást jelentős nagy méretű ($d_{pórus}$>*10 µm*) pórussal;
valamint
3) egymóduszú, széles eloszlást.



4. ábra. Különböző kőanyagok látszólagos (nyílt) porozitása

Az 5. ábrán az egyes kőanyagok (mezo)pórusosságának különbözősége is megfigyelhető. A diagramokon bemutatott egyedi kőzetszemcsék közül a „Tatabánya mészkő" belső szerkezetében jellemzően a 0,1 µm-nél kisebb pórusok, míg a „Tállya andezit" esetében a 0,1 µm-nél nagyobb pórusok voltak kimutathatók. A „Dunabogdány andezit" széles pórusméret-eloszlással rendelkezett, a kőanyagon belül azonosított pórusok jellemzően a 0,01 – 20 µm közötti tartományban fordultak elő. A „Kisnána régi" mintában jellemzően a 0,1 µm-nél kisebb pórusok voltak azonosíthatók. Ezzel szemben a „Kisnána új" minta már bimodális eloszlást mutatott, hasonlóan a „Szob andezithez".

Az összes megvizsgált egyedi kőzetszemcse átlagos nyílt porozitása ~2 – 11 % között változott. Összevetve a víztelítéses porozitásvizsgálat eredményeivel, megfigyelhető, hogy a két vizsgálati módszer jó közelítéssel hasonló eredményeket mutat.

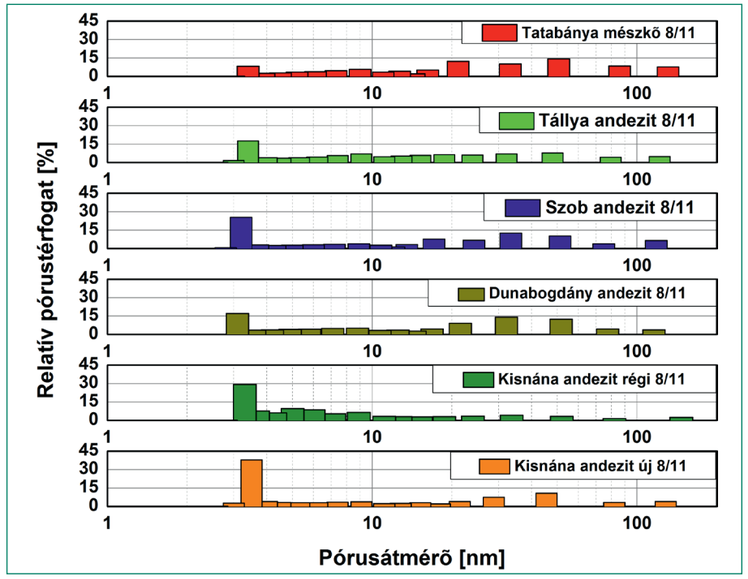


5. ábra. Különböző kőanyagok pórusméret-eloszlásai (higanyporozimetriás módszer)

A mikropórusok mennyiségét és méret szerinti megoszlását a BJH-módszer alkalmazásával, a deszorpciós izoterma mérési adataiból határoztuk meg. A kőanyagok átlagos mikropórusainak eloszlását a 6. ábra mutatja be.

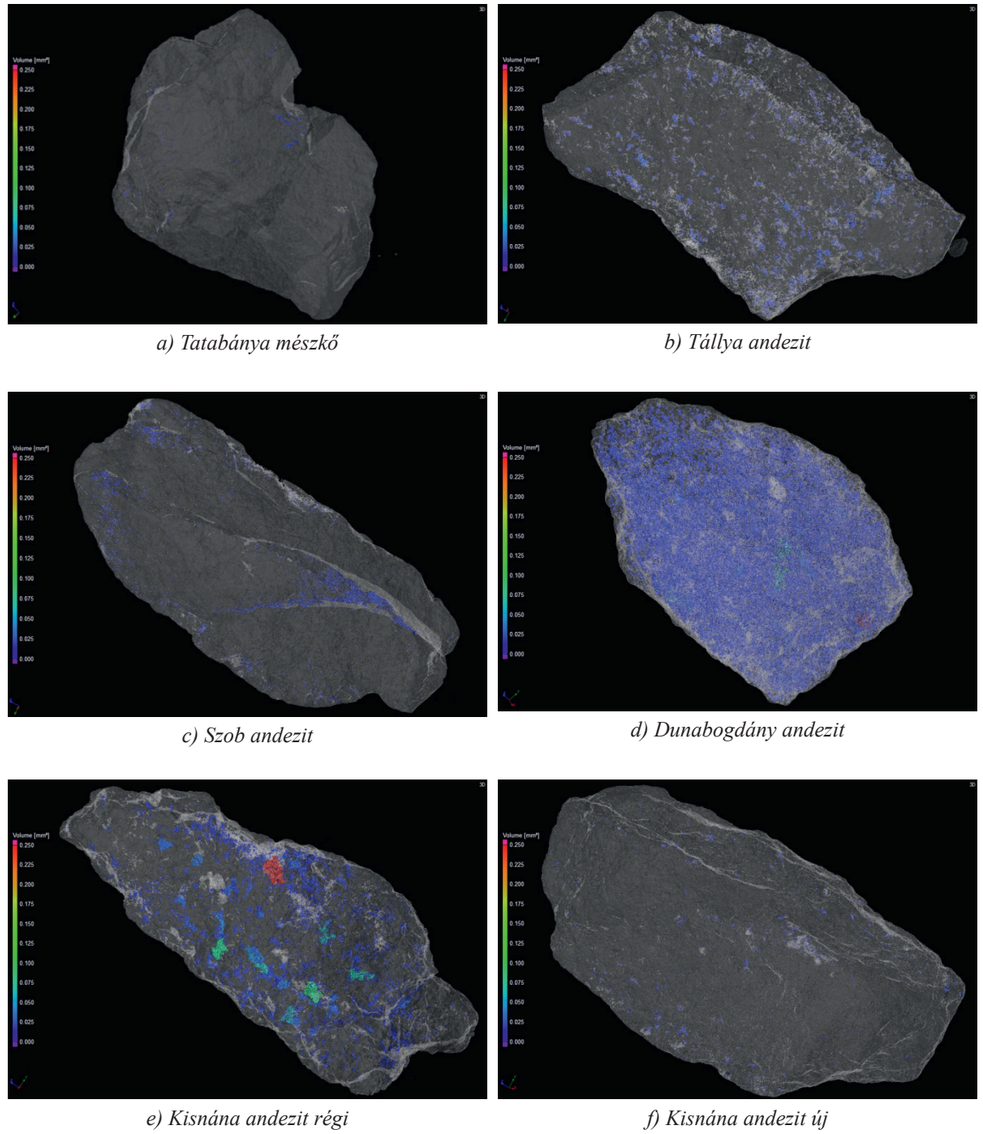
A vizsgálatok minden kőanyag esetében azt az eredményt hozták, hogy a mikropórusok igen jelentős része 20 nanométernél kisebb, a legnagyobb mennyiségben a 3–4 nm átmérőjű pórusok fordulnak elő. A vizsgált pórusméret-tartományban a kőanyagok átlagos pórusátmérője 5,3 nm –11,2 nm között változik. Elgondolkodtató, hogy ekkora pórusokba az 1–2 nm átmérőjű aszfaltén szemcsék bejutása elméletileg lehetséges.

A BET-féle fajlagos felület vizsgálati eredmények alapján a kőanyagok átlagos fajlagos felülete relatíve széles tartományban, 0,81 – 4,45 m2/g között változott. A legkisebb fajlagos felületű anyagnak a „Tatabánya mészkő" bizonyult (SSABET=0,81 m2/g). A „Kisnána régi" minta fajlagos felületéhez képest (SSABET=4,45 m2/g) a fajlagos felület csökkenése volt megfigyelhető a „Kisnána új" minta esetén (SSABET=2,04 m2/g), amely csökkenés az 5. ábrán látható pórusméret-eloszlással jó összhangban van. Ez a csökkenés a „Kisnána régi" minta esetén a 0,01 µm-10 µm közötti pórusok mennyiségének csökkenésével magyarázható.



6. ábra. Különböző kőanyagok mikroporozitása (gázadszorpciós módszer)

A kőanyagok computer tomográfiás vizsgálatai során készített felvételeket a 7. ábra szemlélteti.



a) Tatabánya mészkő *b) Tállya andezit*

c) Szob andezit *d) Dunabogdány andezit*

e) Kisnána andezit régi *f) Kisnána andezit új*

7. ábra. Kőanyagok zárt pórusainak térfogati eloszlása

A felvételeken tömörebb, illetve porózusabb kőzetszemcsék CT vizsgálat után rekonstruált 3D-s modelljei láthatók. A szürkeárnyalatos felületek a kőzetszemcsét, míg a kék, zöld és piros színnel jelölt térfogatok a kőzetszemcsék belsejében detektált zárt pórusokat, pórusrendszereket szimbolizálják, a pórustérfogatok nagyságának függvényében. A felvételek bal oldalán látható színskála pedig a zárt pórusok térfogatára ad iránymutatást. A felvételek alapján könnyedén összehasonlítható a zárt szemcse zárt pórusainak megoszlása is. Viszonyításképpen érdemes összevetni az egyedi kőzetszemcsék térfogatát, illetve a detektált zárt pórusok térfogatát. Az 1. táblázat a CT vizsgálat során megvizsgált egyedi kőzetszemcsék zárt pórusainak mennyiségét, valamint a térfogatok arányából meghatározott zárt pórusok százalékos értékét foglalja össze.

1. táblázat. A CT vizsgálat során megvizsgált egyedi kőzetszemcsék zárt pórusainak mennyisége

Kőanyag típusa	Eredeti térfogat [mm³]	Zárt pórusok össz-térfogata [mm³]	Zárt pórusok mennyisége [%]
Tatabánya mészkő 8/11	334,332	0,013	0,004
Tállya andezit 8/11	625,444	0,690	0,110
Szob andezit 8/11	405,616	0,129	0,032
Dunabogdány andezit 8/11	505,896	11,361	2,246
Kisnána andezit régi 8/11	498,448	2,109	0,423
Kisnána andezit új 8/11	491,300	0,103	0,021

Összegzés

Jelen cikk igyekezett egy rövid áttekintést adni a porózus kőanyagok anyagszerkezeti vizsgálatainak néhány kutatási eredményéről. Célunk nem a bányák termékeinek minősítése, hanem a célzottan kiválasztott kőanyagok pórusosságának tanulmányozása volt. Az aszfaltgyártók eddigi tapasztalatait és ismereteit kiegészítve a bemutatott vizsgálati módszerekkel meghatározható anyagjellemzők elősegíthetik az aszfaltkeverékek tervezését. A kőbányák – technológiájuk és infrastrukturális hátterük fejlesztésével – az egyre jobb minőségű kőanyagok előállítására és bevizsgálására törekszenek, így naprakész információval rendelkeznek termékeik jellemzőiről. Ebből adódóan az aszfaltgyártók és a kőbányák közötti szoros együttműködés mindenképpen javasolt.

Bízunk benne, hogy sikerült felkeltenünk az érdeklődést a kutatási témában rejlő lehetőségek és várható eredmények iránt, amely mind az alapanyag beszállítók, mind pedig az aszfaltgyártók számára hasznos lehet a jövőben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a GINOP-2.1.2-8.1.4-16 kódszámú, „Porózus kőanyagok bitumenfelvételének csökkentése” című projekt keretén belül valósult meg. A Szerzők ezúton szeretnék megköszönni a Swietelsky Magyarország Kft-nek a kutatómunkában történő részvétel biztosítását.

Felhasznált irodalom

1. L. B. Gezentsvey: *Aszfaltbeton útburkolatok*; Moszkva (1960)
2. H. Groenzin, O. C. Mullins: *Asphaltene Molecular Size and Structure*; J. Phys. Chem. A, Vol. 103, pp. 11237–11245. (1999)
3. Thermo Scientific: *Mercury Porosimeter PASCAL 140 Sand 440 Series Instruction Manual* (2009)
4. H. Giesche: *Mercury Porosimetry: a general (practical) overview*; Particle & Particle Systems Characterization, Vol 23. pp. 1-11. (2006)
5. L. M. Anovitz: *Characterization and analysis of porosity and pore Structures*; Reviews in Mineralogy & Geochemistry, Vol. 80. pp. 61-164, (2015)
6. International Union of Pure and Applied Chemistry: *Reporting physisorption datafor gas/solid systems - with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity*; Pure & Applied Chemistry, Vol. 54. No.11. pp.2201–2218 (1982)
7. S. Brunauer, P. H. Emmett, E. Teller: *Adsorption of Gases in Multimolecular Layers*; Journal of the American Chemical Society, Vol. 60. No. 2. pp. 309–319. (1938)
8. E.P. Barrett, L. G. Joyner, P. P. Halenda: *The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I.; Computations from Nitrogen Isotherms*; Journal of the American Chemical Society, Vol. 73, pp. 373-380 (1951)
9. YXLON FF35 CT: *Multi application, high resolution computed tomography (CT) inspection system for fine and middle-sized parts*; Product brochure (2019)

Gondolatok a hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezés aktuális helyzetéről és javaslatok a lehetséges jövőképhez

Füleki Péter

egyetemi docens,
Széchenyi István Egyetem,
Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

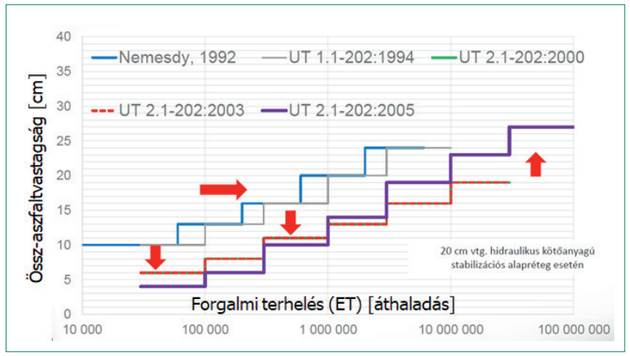
1. Bevezetés

Több mint egy évtized után átgondolás és megújulás előtt áll a hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezési előírás. Ehhez kapcsolódóan rengeteg kérdés merül fel a megújulás irányát illetően, amelyek megválaszolása nem is olyan egyszerű feladat. A múlt és a jelen ismeretében, a környező országok haladását látva e téren milyen jövő képzelhető el Magyarországon? Mondhatnánk, hogy ennek csak a képzelet szab határt…de a realitások talaján maradva nézzük – a teljesség igénye nélkül, melyek azok az aszfalt pályaszerkezet-méretezésen belüli tématerületek, amelyekre lehetőleg választ kell adnia a jövő méretezési szabályozásának, szabályozásainak.

2. Visszatekintés

Jelenleg a hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezési előírás átdolgozás alatt áll. A legutóbbi, 2005-ben kiadott és azóta csak apróbb módosításokon átesett változat – habár alapjaiban ma is jól működő pályaszerkezetekkel operál – idén éppen 15 éve lépett érvénybe.

A korábbi hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezési eljárások közül a ma is alkalmazott eljárások alapjának tekinthető az 1971-ben megjelent Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása (HUMU), amely szemiempirikus módszerek, azaz nagyminta kísérletek matematikai statisztikai kiértékeléseinek eredményein alapul [Kosztka, 2010]. Az 1992-ben ismertetett Dr. Nemesdy-féle eljárás már egy új méretezési módszert alapozott meg [Nemesdy, 1992], amely 1994-ben mint Útügyi Műszaki Előírás (ÚME) jelent meg. A mai jogszabályi és műszaki szabályozási célokkal ellentétben, a Dr. Nemesdy-féle előírást – amíg érvényben volt, 11 év alatt – átlagosan másfél évente, összesen 7 alkalommal újították meg vagy dolgozták át a hazai kutatások eredményének megfelelően. A Dr. Tóth Csaba által összeállított ábrán látható (1. ábra), hogy az 1992-es (megjelenés 1994) megközelítéstől a 2005. évben érvénybe lépő ÚMÉ-ig hogyan alakultak a forgalmi terhelési osztályok és a pályaszerkezet össz-aszfaltvastagságok a 20 cm vastagságú hidraulikus kötőanyagú stabilizációs alapréteggel készült típus-pályaszerkezet alkalmazása esetén [Tóth, 2016a]. Az 1. ábrán látható változások természetesnek tekinthetők az időközben változó nemzetközi és hazai műszaki szabályozások, az új alapanyagok (főleg kötőanyagok) és adalékszerek megjelenésével, illetve az építéstechnológia fejlődésével. A fenti időszakot és a megújítás gyakoriságát alapul véve – és eltekintve a Magyar Útügyi Szabályozást nehezítő, 2010-től jónéhány éven át blokkoló jogszabályi környezetet – a 2005-ben Dr. Adorjányi Kálmán vezetésével kidolgozott előírásra elméletileg 10 átdolgozás vagy megújítás eshetett volna. Persze a realitás egy jól működő műszaki szabályozási környezetben nem efelé mutat, de ez a tény, illetve az aszfaltkeverékekben és azok előírásában bekövetkező európai és hazai változások is indokolták, hogy a méretezési előírás felülvizsgálatra kerüljön.



1. ábra – Az össz-aszfaltvastagságok alakulása a forgalmi terhelések függvényében a hazai előírások szerint [Tóth, 2016a]

3. A jelen

A jelenlegi előírási struktúrában az új aszfalt-pályaszerkezetek méretezéséhez négy Útügyi Műszaki Előírás ad meg méretezési eljárásokat és követelményeket:

- „Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek méretezése és megerősítése” (kiadás éve: 2005),
- „Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése” (kiadás éve: 2009),
- „Kerékpárutak, gyalogutak és járdák pályaszerkezete” (kiadás éve: 2010),
- „Települési utak pályaszerkezetének felújítása” (kiadás éve: 2017).

A négy ÚME mellett érvényben van jelenleg az „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének segédlete” (kiadás éve: 2000), amely – megjelenési évének megfelelően – még az Európai Uniós harmonizációt megelőző aszfalttípusokat nevez meg. Az érvénybe lépések évének és a műszaki környezet változásának eredményeképpen, ezek az előírások nem minden esetben vannak összhangban egymással. Külföldi példák arra mutatnak rá, hogy a különböző alkalmazási területeket érintő, de azonos témakört (pl. aszfalt pályaszerkezet-méretezés) szabályozó előírások összevonása racionális döntés lehet.

Ennek fényében zajlik egy ideje a jelenleg érvényben lévő aszfalt pályaszerkezet-méretezési ÚME átgondolása. A 2005-re, neves szakemberek által – Dr. Adorjányi Kálmán, Dr. Ambrus Kálmán, Dr. Boromisza Tibor, Karoliny Márton, Dr. Liptay András és Dr. Pallós Imre közreműködésével – kidolgozott előírás két kiegészítés és módosítás (2006. évi illetve 2010. évi) után ma is érvényben van. Azt, hogy a 2005. évi ÚME alapján tervezett új aszfalt-pályaszerkezetek a mai anyagokkal és építéstechnológiai eljárásokkal is működőképesek, az ÚME érvénybe lépési időpontja után újonnan tervezett és épített, de már legalább 10 éves aszfalt-pályaszerkezetek igazolják. Hozzá kell tenni ugyanakkor, hogy az aszfaltkeverékekre vonatkozó hazai ÚME-k először az EN-szabványokra való átállással, azt követően a 2010. évben módosultak, legutoljára 2018-ban teljesen megújultak. Emellett a kapcsolódó előírások, (pl. geotechnikai ÚME, „alapréteges” ÚME, stb.) előírások, amelyekre az aszfalt pályaszerkezet-méretezési ÚME épít, már megújultak vagy éppen megújítás alatt állnak. Mindeközben a 2018-tól készülő, újonnan megjelenő ÚME előírások már a jogszabályi szintű „Az innovációért és technológiáért felelős miniszter ITM rendelete a közutak építésének szabályairól” (röviden: KÉSZ) rendelettervezetnek megfelelően, annak alapelveit követve kerültek kidolgozásra. Fontos megjegyzés, hogy a KÉSZ még nem lépett hatályba.

4. Lehetséges jövőkép

4.1. A megújulás katalizátorai

Az aszfalt pályaszerkezet-méretezés megújulására – legyen szó analitikus méretezésről, típus-pályaszerkezet választásról vagy pályaszerkezet megerősítésről – mind a megrendelői, mind a kivitelezői oldalról igény mutatkozott. Ennek oka az új és innovatív technológiákban, alapanyagokban vagy gyártási eljárásokban keresendők. A kivitelezői oldal – a gazdasági válságok idején tipikusan előtérbe helyezett fejlesztések eredményeként létrejövő – innovatív eljárások előnyeit szerette volna igazolni, amely a típus-pályaszerkezetekkel történő pályaszerkezet-tervezésen keresztül nem mutatható ki, a megbízói oldal pedig ezeket az eljárásokat vagy pályaszerkezet-javaslatokat szerette volna ellenőrizni, felülvizsgálni. A közös cél, még ha nem is teljesen közös érdekből, tehát adott volt.

Ennek a kérdésnek egy szelete a ma már magabiztosan és tudatosan elérhető magasabb földmű, illetve kötőanyag nélküli burkolatalap-réteg teherbírás, amelyeket a típus-pályaszerkezeteknél a katalógusos rendszer nem vesz figyelembe.

Az ÚMÉ-k összevonása, ezáltal az aszfalt útpályaszerkezetek méretezésének egyszerűsítése közös érdeke mind a megbízói, mind a tervezői oldalnak, amelyre a közös szándék is fennáll. Ennek oka többek közt az is, hogy jelenleg egyes alternatív pályaszerkezeti javaslatok egyenértékűség vizsgálata az azt ellenőrzők – kétségtelenül objektív, de – szűk eszköztárára van bízva. Az egyedi projektek pályaszerkezet-méretezési eljárásai a transzparens analitikus módszerek következtében objektíven ellenőrizhetőkké válnának.

A tavalyi év szakmai kérdése volt (a III. Magyar Közlekedési Konferencián a szekció egyik résztémája is volt) pályaszerkezet-méretezési körökben az M1 autópálya új burkolatának felépítése. Szakmai körökben sokaknak sokféle véleménye van a kérdésről, viszont abban egyetért a szakma is, hogy az ott figyelembe veendő tervezési forgalom és igénybevétel meghaladja a jelenlegi előírás (e-ÚT 06.03.13) típus-pályaszerkezeteinek felépítését és aszfaltmechanikai kérdéskörét.

4.2. A szükségszerű változások

Mint az e-ÚT 06.03.13. aszfalt pályaszerkezet-méretezési ÚMÉ-t forgatók számára ismert; a jelenlegi előírás „katalógusos” rendszerben, típus-pályaszerkezeteket ad meg a különböző forgalmi terhelési osztályokra. Ennek, az analitikus elven alapuló, a burkolatalap-réteg függvényében az össz-aszfaltvastagságokat megadó, módszernek a megtartása szükségszerű, hiszen a pályaszerkezetek felépítése a technológiai tervezésében nem jártas mérnökök számára is érthetők – szinte már „közérthetők”. A megtartás javaslata mellett nem szabad ugyanakkor „érintetlenül” hagyni az ott szereplő szerkezeteket. Minden forgalmi kategóriában szükséges a megadott pályaszerkezetek felülvizsgálata a jelenlegi aszfaltkeverékekre és kötőanyag nélküli, illetve kötőanyaggal készült alaprétegekre vonatkozó követelmények (anyagjellemzők), és a közúton előforduló forgalmi igénybevételek nagyságának és összetételének figyelembe vételével. Hiszen az össz-aszfaltvastagságok a típus-pályaszerkezeti rétegek hajlítási húzó- és nyomóigénybevételei alapján meghatározott fáradási kritériumok szerint kerültek megadásra.

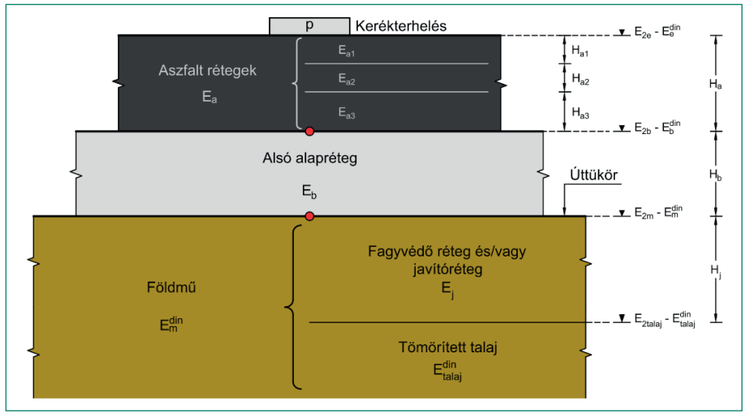
Az aszfalt pályaszerkezet-méretezési előírás megújítása emellett megadja a lehetőséget a tervezési forgalom (TF(F100)) képletének felülvizsgálatára esetleges kiegészítésére is. Javasolt és indokolt a 2005-ben megadott képlet áttekintése és az azóta lefolytatott – többnyire külföldi – kutatások és hazai publikációk eredményének adaptálása, azok szakmai indokoltsága és szükségszerűsége esetén. Ebben a témában Dr. Adorjányi Kálmán 2009-ben publikálta gondolatait és eredményeit, amelyek megfontolása és felhasználásának lehetősége mérlegelendő [Adorjányi, 2009]. A cikkben szereplő javaslatai és az azokhoz tartozó érvelések megalapozottak – külföldi kutatási eredményekkel is igazoltak – azonban az eltelt idő miatt célszerű a felülvizsgálatuk esetleges alkalmazásuk előtt.

4.3. Az analitikus méretezés kérdése és jelentősége

Az analitikus pályaszerkezet-méretezési eljárás jelen van már a hazai gyakorlatban, azonban nem egységes elvet követ, nem uniformizált, illetve nem transzparens. A különböző számítások (méretezések) történhetnek akár egy komplexebb Excel táblában vagy a legmodernebb külföldi méretező szoftverekkel is, holott az analitikus méretezési eljárás jelentősége nem elhanyagolható nemzetgazdasági szinten sem (pályaszerkezeti egyenértékűség- és/vagy többletélettartam vizsgálata, ásványvagyon egyenlőtlen eloszlása, helyi anyagok felhasználása a pályaszerkezetben vagy földműben, stb.) [Primusz és Tóth, 2018].

A nemzetközi gyakorlatban többféle analitikus eljárásmód létezik a közutak pályaszerkezetének méretezésére, amelyből érdemes kettőt ilyen tekintetben – akár követendő – példaként kiemelni.

Az egyik a francia módszer, ahol állami szereplő által (2011-ig LCPC, utána IFSTTAR) kifejlesztett méretezési eljárást szoftveres környezetbe átültető ALIZE méretezőszoftvert használják. Itt nemcsak egységes eljárásmódot (pl. bemenő paraméterek, korrekciós szorzók, biztonsági tényezők), hanem egységes szoftverkörnyezetet is kidolgoztak az analitikus méretezési eljáráshoz. Ennek előnye, hogy mindenki ismert input adatokkal dolgozik, egységes eljárás alapján méretezi a pályaszerkezetet, „csak” az útpályaszerkezeti rétegek mechanikai jellemzői változók a rendszerben. Hátránya, hogy a méretezési eljárás egységessége miatt a szoftverfejlesztés függ az újabb IFSTTAR kutatások eredményétől és az eljárás átdolgozásának ütemétől.



2. ábra – A Tóth-Primusz-féle analitikus eljárás zerkezeti modellje az ELZA felületén [Tóth, 2016a]

A másik a német módszer, ahol az FGSV (német „MAÚT”) által kidolgozott és megjelentetett irányelv (Richtlinien für rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht [RDO Asphalt, 2009]) rögzített eljárása szerint kell az analitikus aszfalt pályaszerkezet-méretezéseket elvégezni, azonban szoftveresen nem dolgozták ki és nem kötötték egyetlen alkalmazáshoz sem annak használatát. A méretező szoftverek piaca így szabad maradt, jelenleg is többféle program ismert a piacon (pl. Pavement Design Tools – PaDesTo, ADtoPave, stb.), amelyek fejlesztői adott esetben a műszergyártókkal összeállva, a vizsgálóberendezésekkel illetve az azok által szolgáltatott eredményekkel kompatibilissá tesznek, így a mérési fájlok közvetlen szoftveres feldolgozásával teszik lehetővé a vizsgált aszfaltkeverékek mechanikai jellemzői figyelembe vételével összeállított pályaszerkezetek élettartamát vagy viselkedési (hőmérsékletfüggő fáradási és merevségi) jellemzőit. A német analitikus eljárás előnye, hogy egységes eljárást alkalmaz és annak alapján készült szoftverekkel teszi lehetővé az analitikus méretezést. A szoftvereknek szabad piaca van, adott esetben műszergyártókkal összhangban fejlesztik azokat, megkönnyítve a méretezést. Ez ugyanakkor hátrányként is megemlíthető, hiszen nem ismertek a programok folyamatai („black-boksz hatás”), így apró eltérések az RDO 09 alkalmazása ellenére is lehetnek. Hátránya szintén, hogy ugyan Németország is az EU tagja és az EN szabványokat alkalmazza, előfordulhat, hogy más, kissé módosított eljárást használnak az aszfaltmechanikai jellemzők megállapítására. Az is gyakori, hogy egy-egy tartomány további vizsgálatokat követel meg, amelyeket aztán felhasznál valamilyen módon az aszfaltkeverék viselkedésének – ezáltal a pályaszerkezet viselkedésének is – jellemzésére.

Hazánkban az elmúlt tíz év első komolyabb analitikus méretezési eljárását a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ megbízásából Dr. Tóth Csaba és kutatócsoportja dolgozta ki [Primusz et al., 2016], amelyhez felhasználóbarát analitikus méretező szoftvert is készített Dr. Markó Gergely és Dr. Primusz Péter (szoftver: ELZA 1.0).

A 2. ábra mutatja be a Tóth-Primusz-féle eljárás Markó Gergely közreműködésével feldolgozott szoftveres modell felépítését.

Az eljárás kidolgozása során figyelembe vették a pályaszerkezeti rétegek – a típus-pályaszerkezetekben használtaktól – eltérő anyagi tulajdonságait, a hazai környezeti, földrajzi és egyéb adottságokat, illetve teret adtak az innovatív technológiák és megoldások mérlegelésére is, már a tervezési fázisban. A komplex méretezési eljárás az elmúlt néhány évben nem vált önálló Útügyi Műszaki Előírássá vagy valamely ÚME részévé, viszont jó alapot jelent a későbbiekre való tekintettel, hiszen az abban összegyűjtött és felhasznált eljárások és elméletek korszerűek, idő előrehaladtával történő frissítésük után tovább alkalmazhatók. Kidolgozottsága mellett talán egyetlen hátrányaként említhető, hogy a – hangsúlyozom –tesztverzióban kidolgozott szoftver már-már túlzóan leegyszerűsített és a technológiai tervezésben járatlan szakemberek számára olyan pályaszerkezet-variációkat is eredményezhet, amelyek a gyakorlatban nem alkalmazhatók vagy gazdaságtalan eredményre vezetnek.

Fontos szempont, hogy az analitikus méretezés transzparens eljárás legyen. Éppen ennek okán szükséges, hogy az aszfalt pályaszerkezet-méretezéshez használt aszfaltmecha-

nikai és egyéb szükséges jellemzők (pl. földműteherbírás, rétegmodulusok, stb.) értékei ismertek legyenek és így azok az analitikus eljáráshoz kiindulási alapot jelenthessenek. És éppen a méretezéshez szükséges aszfaltmechanikai jellemzők azok, amelyekről jelenleg nem egységes a hozzáértő szakmai kör véleménye. Ennek okait a közelmúltban folytatott kísérleti vizsgálatok (sajnos nem beszélhetünk rendszerszintű kutatásról) és adatgyűjtések között találjuk.

5. Az aszfalt pályaszerkezet-méretezési eljáráshoz megfontolandó körülmények és tényezők

Az 1994-ben Dr. Nemesdy által kidolgozott, analitikus méretezésen alapló eljárás óta számtalan körülmény változott, amely hatással van a méretezés eredményére. Ezek hatása kisebb-nagyobb mértékben került figyelembe vételre a modellek korlátossága vagy a módosítások korlátozottsága miatt.

Általánosságban elmondható, hogy az analitikus méretezés kidolgozása során nem hagyható figyelmen kívül a mart aszfalt (RAP) részarányának növelése (emellett a pályaszerkezet teljesítményének megtartása) vagy a „Perpetual pavement"-elv („örökéletű pályaszerkezet") felé történő orientáció.

Mindemellett néhány olyan fontos paraméter fontosságát emelném ki, amelyek ugyan figyelembe vételre kerültek már az analitikus elven meghatározott típus-pályaszerkezetek számításánál, de az idővel biztosan változtak és változni fognak a jövőben is. A teljesség igénye nélkül álljon itt néhány gondolat ezekről a jelenségekről.

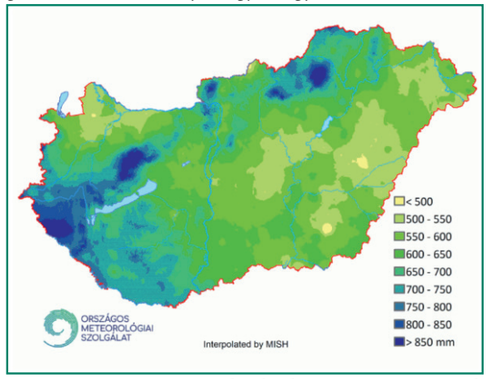
5.1. Megfontolásra javasolt input adatok az analitikus eljáráshoz

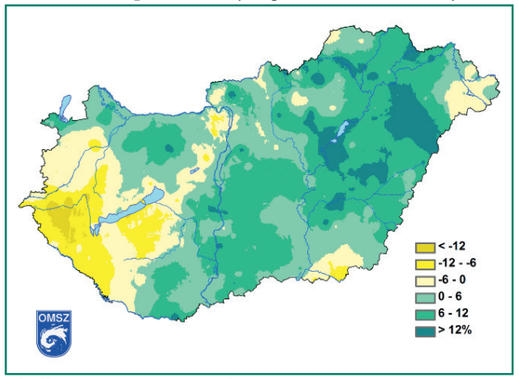
Nem meglepő módon a bemenő adatok meghatározásánál fontos helye van a klímaváltozásnak [Gribovszki et al, 2020; Primusz et al, 2013]. Hazánkban e folyamat nem vitatható jeleire mutatnak az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatai, amennyiben megfelelő aspektusból vizsgáljuk azokat.

5.1.1. Csapadékmennyiség és intenzitás

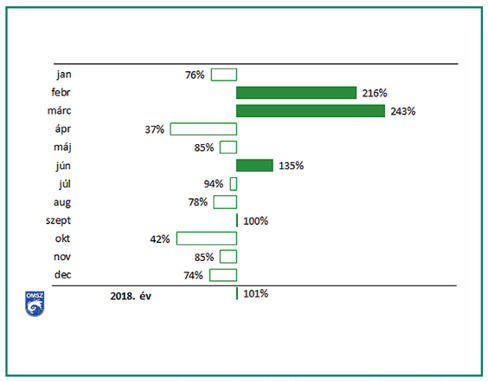
Bármilyen típusú burkolatalap-réteggel épült pályaszerkezetről beszélünk, annak élettartamára jelentős hatással van az útburkolat alatti (földmű és burkolatalap-réteg egyaránt) teherbírás. Ezt – a vízelvezető rendszer működőképességétől függően – a lehullott csapadékok mennyisége és intenzitása egyaránt befolyásolja. A 3a. ábra a 2019. évi csapadékösszegeket mutatja országos eloszlásban. A 3b. ábra az 1961 és 2016 közötti éves csapadékösszegek változását szemlélteti országos viszonylatban [OMSZ, 2020].

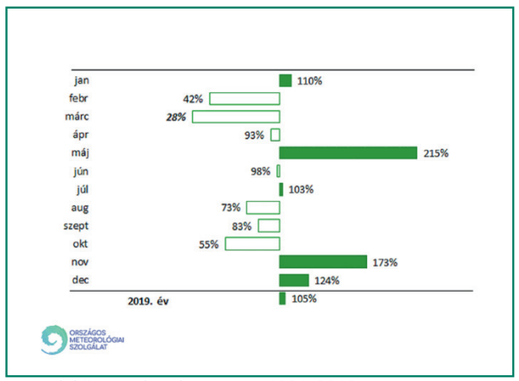
A 3. ábrék az éves csapadékmennyiség országon belüli különbség csökkenését mutatja az 55 éves időtávon, holott a 2019. évi csapadékmennyiséget tekintve a bakonyi (946 mm) és orosházi (381 mm) értékek közötti különbség továbbra is jelentős. Ezen adatoknak a csapadék pályaszerkezet-méretezés (földmű) során való, illetve az országon belüli különbségek figyelembe vételénél van jelentősége.





3a. és 3b. ábrák – A 2019. évi csapadékösszegek illetve az 1961 és 2016 közötti éves csapadékösszegek változása országos eloszlásban





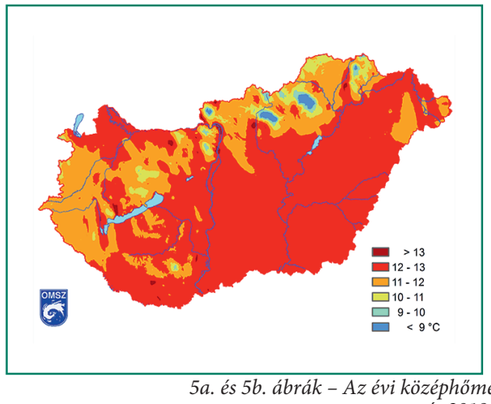
4a. és 4b. ábrák – A 2018. és 2019. évi havi csapadékösszegek változása az 1981-2010. évi normál (100%) százalékában

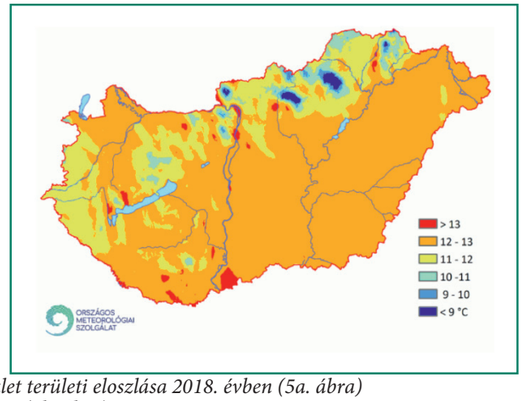
Ezeket az időszakos hatásokat a pályaszerkezet-méretezési előírások készítésekor javasolt és indokolt figyelembe venni. Statisztikai módszerek alapján javasolt meghatározni, hogy a jelenlegi intenzív csapadékos időszakok milyen gyakran és milyen hosszú időszakban fordulhatnak elő, és ezek alapján szükséges megadni az alulmaradási valószínűséget a pályaszerkezet alatti teherbírást tekintve [Tóth, 2016b]. Ebből előrebecsülhető a kockázat, amely szerint a pályaszerkezet (főleg, de nem kizárólagosan hajlékony és félmerev szerkezetek) ugyan megfelelően képesek levezetni a rájuk jutó igénybevételeket és azokat továbbadni a földműre, de előfordulhat, hogy az a teherbíráscsökkenés következtében nem képes azokat károsodás nélkül elviselni.

5.1.2. Lég- és burkolathőmérséklet

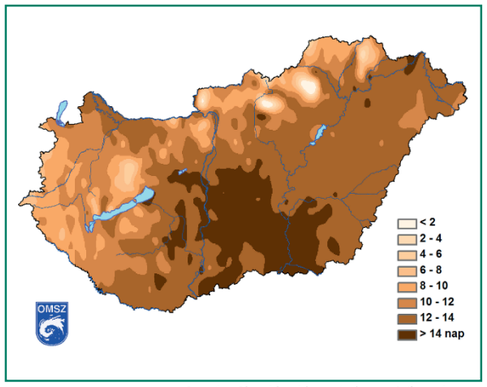
Az aszfaltburkolatok teljesítménye, az anyag hőmérsékletfüggő viszkoelasztikus jellemzői miatt, függ a burkolatban mért – és nem csak a burkolatfelületen mért – hőmérséklettől. A 2018. és 2019. évet tekintve a tavalyelőtti léghőmérsékletek középértéke országosan meghaladta a 13°C-ot, addig a tavalyi évben ez csak néhány helyen következett be (5a. és 5b. ábrák) [OMSZ, 2020]. Ennek, illetve a léghőmérséklettel korrelációban lévő burkolathőmérsékleteknek, az ismerete az aszfaltburkolatok merevségének, és így közvetve a pályaszerkezetfáradási jellemzőinek meghatározásában, ezáltal az analitikus méretezésben is elengedhetetlen tényező.

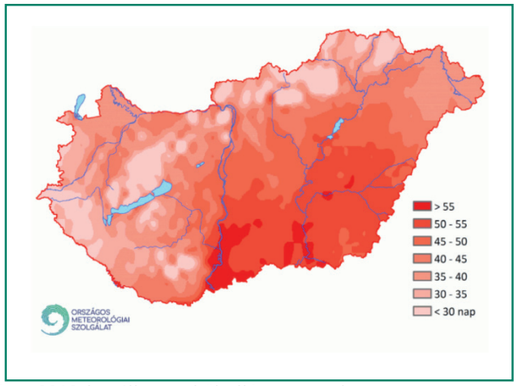
A hazai pályaszerkezet-méretezésnél alkalmazott egyenértékű méretezési burkolat-hőmérsékletet Dr. Nemesdy publikálta az analitikus elvű méretezési eljárását ismertető cikkében [Nemesdy, 1992]. Pethő ezt a tartományt publikációjában +24,3°C…+24,5°C hőmérsékletre [Pethő, 2008a], míg Adorjányi, a „modellekben használt változók ingado-



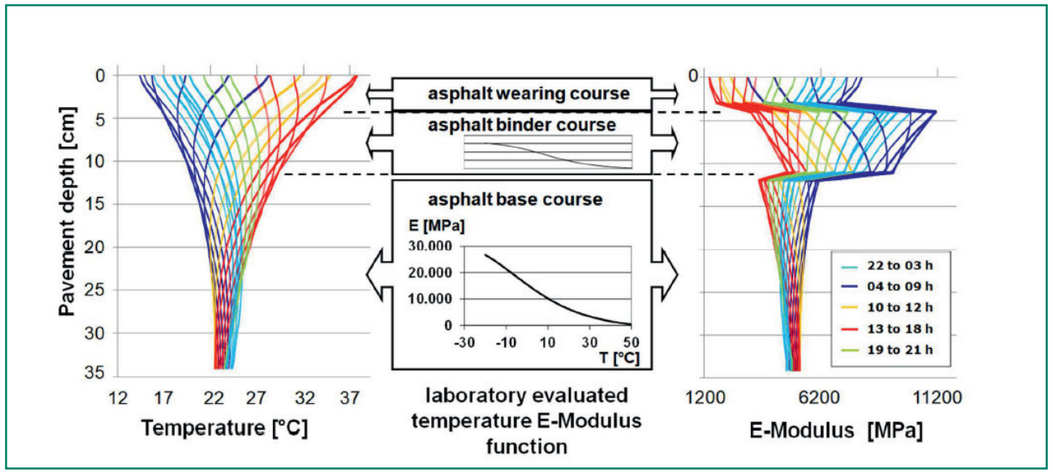


5a. és 5b. ábrák – Az évi középhőmérséklet területi eloszlása 2018. évben (5a. ábra) és 2019. évben (5b. ábra)





6a. és 6b. ábrák – A hazai forró napok száma 2019-ben illetve a hőhullámos napok száma az 1981–2016-es időszakban



7. ábra - A pályaszerkezeti aszfalrétegekben előforduló hőmérsékletek és az azoktól függő merevségi modulus ábrázolása a pályaszerkezet mélységében [Wistuba, 2018]

zásait, a rugalmas modellben nem kezelt viszkoelasztikus viselkedést és a korrelációk pontatlanságait" figyelembe véve, +20°C hőmérsékletre javasolta felvenni [Adorjányi, 2009].

A hőmérséklet ugyanakkor nem csak az évi középhőmérséklet (ezáltal a fáradási jellemzők meghatározásánál) fontos kérdés, hanem az egyre gyakrabban előforduló forró (napi maximum hőmérséklet meghaladja a +30°C-ot) és hőhullámos napok (a napi középhőmérséklet meghaladja a +25°C-ot) bekövetkezésének pályaszerkezetre gyakorolt hatásának figyelembe vételénél is (6a. és 6b. ábrák, [OMSZ, 2020]).

Ahogyan a csapadékmennyiségek és intenzitások esetében is a szélsőségek előfordulási gyakoriságát és a pályaszerkezetet befolyásoló hatásaikat javasolt vizsgálni, úgy itt is a viszkoelasztikus jellemzők miatt bekövetkező változó teljesítmény és annak tartóssága lehet érdekes szempont az analitikus méretezésnél.

Látható, hogy a dél-alföldi terület jelentős részén a forró napok száma meghaladta az 50 napot és ugyanitt magas a hőhullámos napok száma is, ami azt jelzi, hogy nem csak a napon belüli léghőmérséklet emelkedett magasra, de az az éjszaka folyamán sem hűlt jelentősen vissza. Könnyű belátni, hogy a pályaszerkezetek az ilyen időjárási körülmények között folyamatosan ki vannak téve a hőhatásnak, melegszenek és az éjszakai lehűlés csökkenő hatása miatt jelentős mennyiségű hőt tartanak meg. Ez a viszkoelasztikus jellemzők tekintetében időszakos pályaszerkezet-teljesítmény csökkenéssel járhat, ami a felsőbb (melegebb) rétegek háttérbe szoruló elasztikus, uralkodóvá váló viszkózus jellemzői miatt következik be. Ilyenkor a méretezéshez használt aszfalt egyenértékű merevség értéke csökken, az igénybevételek lefutása a pályaszerkezetben eltérően alakul egy tavaszi vagy őszi időszakhoz képest. Mint a 4a. és 4b. ábrák mutatták, ezzel egyidőben nem jellemző a nagymennyiségű csapadék, amely a földműteherbírást csökkentené, ezért a pályaszerkezet ilyen környezeti körülmények közötti viselkedését érdemes vizsgálni és a modellépítés során felhasználni.

Erre mutatott be példát Dr. Wistuba is, amikor a pályaszerkezeti aszfalrétegek hőmérsékletfüggő jellemzőit vizsgálta (7. ábra [Wistuba, 2018]).

Holott a témában folytatott kutatásokat és prezentálta eredményeit Dr. Pethő [Pethő, 2008b], Dr. Tóth [Tóth, 2010] és Dr. Soós is [Soós, 2017], a hőmérsékletfüggő és annak változását a fent említett részletességgel figyelembe vevő analitikus méretezési eljárás jelenleg nincs használatban Magyarországon.

5.2. Az analitikus számítás során kapott eredmények értékeléséhez

Bármilyen elvek mentén is kerüljön kidolgozásra a jövőbeli analitikus méretezési eljárás – a típus-pályaszerkezetek ellenőrző számításaként használva is –, nem szabad figyelmen kívül hagyni az útügyi műszaki előírások által megengedett eltéréseket, amelyek a gyártási és beépítési technológiai ingadozásokat fogad el. Korábban már folytak kutatások ezen hatások kimutatására [Fi és Tóth, 2010] illetve a hatások beépítésére a TF(F100) képletébe [Adorjányi, 2009], de jelenleg a modellek csak közvetve (egyenértékű merevségen keresztül) veszik figyelembe ezt jelenséget, azonban ezt homogén módon teszik. Nem vetik össze az aszfaltrétegek előírásokban szereplő követelményeinek alsó és felső határait, illetve az azokhoz tartozó anyagi jellemzőket egymással. Pedig az aszfaltok esetében a hézagtartalom, a szemmegoszlás vagy a kötőanyag-tartalom változása és a teljesítményi jellemzők (merevség, fáradás) között egyenként sem lineáris összefüggés van. Ezen hatások összegzett vizsgálata azonban egy jól felépített és kivitelezett kutatás keretein belül vizsgálható olyan módon felül, hogy abból a pályaszerkezet-méretezési eljárásba beépíthető eredmények születhessenek.

6. Összegzés

Napirendben van a hazai aszfalt pályaszerkezet-méretezési előírás átgondolása és megújulása, amely közös cél kell legyen minden érintett számára. Az 1994-től használt és 2010-ig folyamatosan frissített előírás felülvizsgálata mellett felmerült ugyanakkor az aszfalt pályaszerkezet-méretezést leíró Útügyi Műszaki Előírások összevonása és egy egységes analitikus módszer kidolgozása. Az előírás felülvizsgálata közben nagymennyiségű szakmai kérdés merült fel, melyek egyenkénti vizsgálatára külön kutatási programokat lehet (és szükséges?) összeállítani. A szükségszerű változások mellett az egyik legfontosabb kérdés, hogy az analitikus eljárás milyen eljárásrendet kövessen. Mondhatnánk, hogy a lényeg a részletekben rejlik. Gondoljunk csak a klimatikus változásokra a rövid idősorokon, az előírások szerint elfogadott tűrésekre az épített rétegekben vagy az anyagok viszkoleasztikus jellemzőire.

Természetesen igazuk van azoknak, akik azt mondják, hogy az eddigi aszfaltburkolatú pályaszerkezeteinkkel sem voltak különösebb problémák, de a fentiekben ismertetett, a témát – korántsem teljeskörűen – boncolgató kérdések ettől még nem elhanyagolhatók. Előfordulhat, hogy mindezek kérdések egyszerűen összefoglalhatók és megválaszolhatók, az eljárás során – egy megfelelően megválasztott paraméterrel vagy szorzóval – kezelhetők, viszont minden hasonló tényezőnek nemzetgazdasági jelentősége van. Hiszen, ha alulméretezettek lesznek a pályaszerkezeteink, akkor idő előtti tönkremenetelük következhet be, ha túlméretezettek lesznek, akkor pedig nem lesz gazdaságos az épített szerkezet. Ne feledjük, nem a mának vagy csak a holnapnak tervezzük, építjük útpályaszerkezeteinket, hanem a jövőbeni hatásokra méretezzük azokat, amely jövő részleteiben csak bizonyos szcenáriók mentén előrebecsülhető, de senki számára nem ismert.

Végül álljon itt egy adat kommentár nélkül Szilvai József Attila vezérigazgató úr (Magyar Közút Zrt.) 2020. februári HAPA előadásából: a gyorsforgalmi úthálózat főpályák kopórétegeinek 4%-a, a főúthálózat kopórétegeinek 41%-a, a mellékúthálózat 67%-a 40 évnél idősebb [Szilvai, 2020].

Jó lenne ismerni a jövőt! Vagy legalább annak a pályaszerkezet-méretezéshez kapcsolódó részeit!

Irodalomjegyzék

Adorjányi Kálmán: Bemenő paraméterek bővítése az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek méretezésénél. Közlekedésépítési Szemle 59. évf. 7. szám, pp. 11-17.

FGSV: Richtlinien für rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, RDO Asphalt, 2009.

Fi István és Tóth Csaba: A szemmegoszlás változásának hatása az aszfaltkeverék merevségére. Közlekedésépítési Szemle, 60. évf. 12. szám, pp. 24-30, 2010.

Gribovszki et al: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre. Útügyi Lapok, 8. évfolyam, 13. szám, pp. 1-16, 2020.

Kosztka Miklós: Mezőgazdasági infrastruktúra alapjai 6., A mezőgazdasági utak pályaszerkezete, Előadás, 2010.

Nemesdy Ervin: Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének új szabályozása Magyarországon. Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle, XLII. évfolyam, 6. szám, pp. 293-306, 1992.

Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja, 2020.

Pethő László: Aszfaltburkolatú pályaszerkezet hőmérsékletének változása. Közúti és Mélyépítési Szemle, 58. évf. 12. szám, pp. 12-15. 2008a.

Pethő László: A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú útpályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek fáradási méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. 2008b.

Primusz Péter et al: A pályaszerkezet merevségének hatása a behajlási teknő alakjára. Útügyi Lapok, 1. évfolyam, 1. szám, pp. 28-43, 2013.

Primusz Péter et al: Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv. Kutatási jelentés. Megrendelő: Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, 2016.

Primusz Péter és Tóth Csaba: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek egyszerűsített analitikus méretezése, Közlekedéstudományi Szemle, 68 (5). pp. 17-33, 2018.

Soós Zoltán: Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének mechanikai elvű módszere és a szükséges paraméterek vizsgálata. PhD értekezés. 2017.

Szilvai József Attila: Az országos közúthálózat felújításának irányai. Az Aszfalt, XXVII. évf. 2020/1. szám, pp. 8-10.

Tóth Csaba: Aszfaltkeverékek merevsége a terhelési idő, a hőmérséklet és a kőváz szemeloszlásának függvényében. PhD értekezés. 2010.

Tóth Csaba: MAÚT Pályaszerkezet-méretezési Bizottság, Előadás, 2016a.

Tóth Csaba: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése I.-II. Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Mérnöki Kamra, Közlekedési Szakmai Továbbképzés. 2016b.

Wistuba, Michael P.: 3. Pavement Design Workshop, Lednice, Csehország. 2018.11.15-16. Előadás, 2018.

Aszfaltkeverékek hidegviselkedésének adatgyűjtés-jellegű vizsgálata

Füleki Péter

főtechnológus
COLAS Hungária Zrt.
Technológiai Igazgatóság

Szvoboda Krisztián

QA/QC mérnök
COLAS Csehország

1. Bevezetés

A bitumenes kötőanyagok minőségi követelményei között olyan paramétereket találunk, amelyek a kötőanyag plasztikus hőtávolságának határain, illetve azokon belül engednek annak teljesítményére következtetéseket levonni. Ezek a jellemzők többek közt a gyűrűs-golyós lágyuláspont (deformációval szembeni ellenállást), a penetráció (fáradással szembeni ellenállást), illetve a Fraass-töréspont (repedésekkel szembeni ellenállást jellemző) paraméterei, amelyek követelmény-értékeit az MSZ EN 12591 és MSZ EN 14023 (illetve ide sorolható még az MSZ 930 is) szabványok, illetve az e-UT 05.01.26 „Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához" útügyi műszaki előírás rögzíti. Általánosan ismert, hogy a gyűrűsgolyós lágyuláspont és a Fraass-féle töréspont közötti plasztikus hőtávolság nagyobb különbsége (távolsága), a bitumenes kötőanyag kedvezőbb hőmérsékleti intervallumú működési (üzemi) tartományát jelenti.

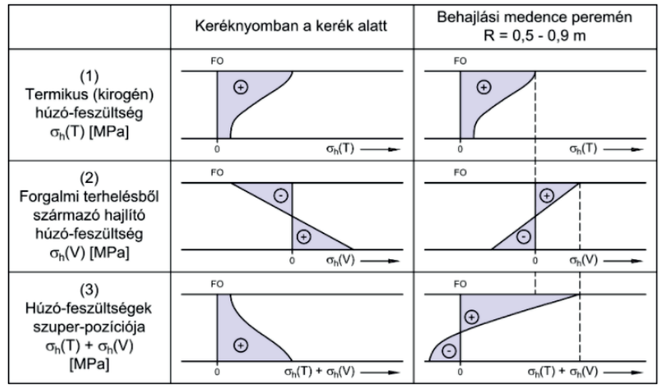
Mindezek mellett az e-ÚT 05.02.11. „Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei" című útügyi műszaki előírás, a kopórétegekre vonatkoztatva az aszfaltkeverék vízérzékenységére és a maradó alakváltozással szembeni ellenállására ad meg követelményeket. Az aszfaltkeverékek hidegviselkedési jellemzőit – az MSZ EN 13108 termékszabvány-sorozatával ellentétben - nem vizsgálja, azokkal szemben követelményt nem támaszt.

Több hazai kutatás és tanulmány is foglalkozott már az aszfalthabarcs töltőanyagfüggő jellemzőivel [Benkő, 2011, Géber, 2013]. Általánosan megállapítható, hogy a bitumenes kötőanyag és a töltőanyag keverékének jellemzői eltérnek a kötőanyag, mint alapanyag jellemzőitől. Kizárólag a bitumenes kötőanyag Fraass-töréspontja alapján nem lehet egyenes következtetéseket levonni az aszfaltkeverék hidegoldali jellemzőire, azonban azok nem függetleníthetők a bitumen hidegviselkedést meghatározó paraméterétől. Az aszfaltkeverékek hidegviselkedésének jellemzésére – ahol a hézagtartalom mellett az aszfalthabarcs és a bitumen-kőanyag kapcsolata (tapadás) meghatározó – egyik szabványos módszer az MSZ EN 12697-46 szabvány szerinti, alacsony hőmérsékleten végzett gátolt alakváltozású próbatestben létrejövő termikus feszültség és repedési hőmérséklet meghatározása (Thermal Stress Restrained Specimen Test - TSRST).

2. Aszfaltkeverékek hidegviselkedési jellemzőinek jelentősége

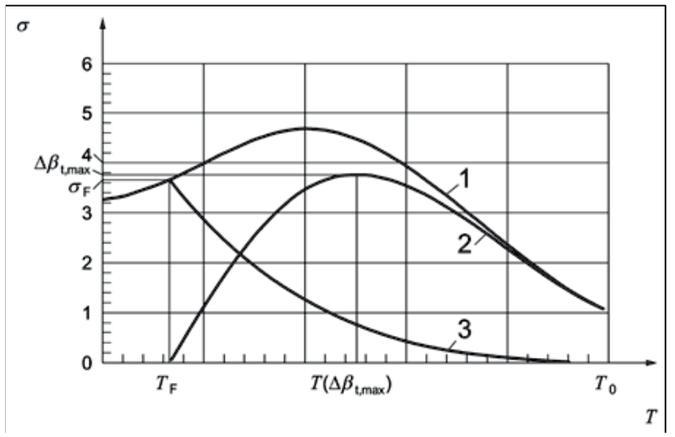
Az aszfalt pályaszerkezetek élettartamát az egyes burkolati rétegek mechanikai tulajdonságai jelentősen befolyásolják. Aszfaltkeverékek tönkremenetelét – annak viszkoelasztikus viselkedése miatt – magas hőmérsékleten a plasztikus alakváltozás, alacsony hőmérsékelten a kriogén feszültség (és a terhelés együttes) hatására kialakuló termikus repedések okozzák – kerék közepe és pereme alatt eltérő módon (1. ábra) [Török és Pallós, 2015]. A melegoldali viselkedést a hazai gyakorlatban is megkövetelt vizsgálatokkal szükséges ellenőrizni (pl. kereknyom). Emellett a plasztikus tulajdonságok javítására számos megoldást alkalmaznak (pl. gumival történő modifikálás), fontos ugyanakkor, hogy az aszfaltkeverékek melegoldali viselkedésének javításával párhuzamosan azok hidegviselkedési tulajdonságai ne romoljanak.

Az aszfaltkeverékekben alacsony hőmérséklet hatására – hőmérsékletfüggő relaxációs képességtől függő – zsugorodás, valamint a gátolt alakváltozás miatt pedig feszültség jön létre. Amikor ez a kriogén (termikus húzó)feszültség eléri a keveréket jellemző húzószilárdságot (2. ábra) a – hőmérsékleti hatásoknak és közvetlen kerékterhelésnek legnagyobb mértékben kitett – burkolatfelületen repedések jönnek létre [MSZ EN 12697-46, 2012]. Az aszfaltkeverék alacsony hőmérsékleten való viselkedésének jellemzéséhez a 1990-es évek elején az Egyesült Államokban fejlesztették ki a gátolt alakváltozású próbatest repedési hőmérsékletének meghatározását. Bár a vizsgálattal szemben támasztott követelményeket az európai vizsgálati szabvány is keretbe foglalja, a hazai, illetve az európai gyakorlatban a vizsgálat még nem terjedt el széleskörűen. Hazai viszonylatban Dr. Török Kálmán és Dr. Pallós Imre publikált összefoglaló jellegű cikket a témában [Török és Pallós, 2015].



1. ábra – A termikus (kirogén) húzófeszültség és a forgalom (kerék) okozta hajlító feszültségek a kerék alatt és a behajlási medence peremén [Török és Pallós, 2015]

Ugyan az elmúlt időszakban készített klimatikus modellek – azon belül a csapadék és léghőmérsékleti adatsorok – egyre növekvő léghőmérsékletet és csökkenő – de kedvezőtlen eloszlású – csapadékmennyiséget prognosztizálnak, emellett az időjárási szélsőségek előfordulásának növekedésével is számolnak. Az útpályaszerkezetek szempontjából vizsgálandó jellemző klimatikus viszonyokat hazai viszonylatban is több publikáció tárgyalta [Tóth és Szentpéteri, 2014, Primusz et al., 2016, Blab és Eberhanrdsteiner, 2017, Gribovszki et al., 2020]. Az aszfaltrétegek és -keverékek szempontjából a rövid időn belül bekövetkező, gyors hőmérséklet-csökkenéssel járó és az alacsony negatív hőmérsékleti tartományban végződő lehűlések előfordulására és azok vizsgálatára célszerű fókuszálni.



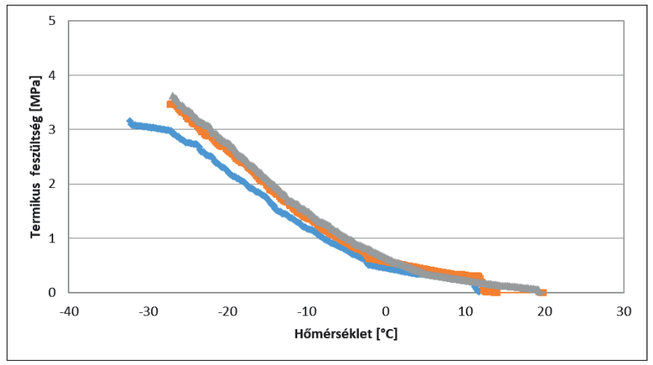
2. ábra – A vizsgálat során a próbatest húzószilárdsága (1) és a próbatestben kialakuló termikus húzófeszültség (3) alakulása a hőmérséklet függvényében [MSZ EN 12697-46, 2012]

3. TSRST vizsgálat bemutatása és eredményei

A TSRST vizsgálat menetét az EN 12697-46:2012 európai szabvány írja le. A szabvány ezen kívül 4 további hidegviselkedést jellemző vizsgálati eljárást is ismertet: az egytengelyű húzás (UTST), a relaxációs vizsgálat (RT), a kúszás vizsgálat (TCT) illetve a ciklikus egytengelyű húzás vizsgálat (UCTST) módszerét.

A TSRST vizsgálat lényege, hogy egy hasáb alakú próbatestet – mindkét végénél acél véglapokra ragasztva – egy klímakamrában rögzítenek úgy, hogy alakváltozás (zsugorodás) ne jöhessen létre, az gátolt legyen a vizsgálat egésze során. A kezdeti +20°C-os hőmérsékletet konstans, 10°C/h sebességgel csökkentik. A próbatest belső hőmérséklete szorosan követi a kamra hőmérséklet-változását. A gátolt alakváltozás miatt a próbatestben a hőmérséklet-változás hatására termikus húzófeszültség ébred. Mikor a húzófeszültség nagysága eléri az adott anyagra jellemző húzószilárdságot, a húzószilárdság tartaléka (2. ábra, 2. görbe) kimerül és a próbatest elreped, eltörik. A vizsgálat eredményét a tönkremenetel pillanatában mért feszültség (termikus húzófeszültség), és a (próbatestben mért) tönkremeneteli hőmérséklet adja. A teljes vizsgálat során rögzítésre kerül ez a két érték, amely alapján elkészíthető a húzófeszültség hőmérsékletfüggés diagram is. (3.ábra)

A COLAS Hungária Zrt. Technológiai Igazgatóság Központi Laboratóriumában az utóbbi években számos, a COLAS csoport keverőtelepein gyártott aszfaltkeverékeken végeztek TSRST vizsgálatot annak érdekében, hogy a keverékek hidegviselkedési tulajdonságairól átfogóbb ismeretet lehessen szerezni. A jelen vizsgálatsorozat célja, hogy a vizs-



3. ábra – A termikus húzófeszültségek alakulása a gátolt alakváltozású aszfalt próbatestekben a TSRST vizsgálat során

gálatról, valamint a hazai gyakorlatban alkalmazott keverékek hidegviselkedési tulajdonságairól alaposabb ismeretet szerezzünk.

Az 1. kép a vizsgálati elrendezést mutatja a TSRST eljárás szerint.

A hazai gyakorlatban gyakran alkalmazott aszfaltkeverékek hidegviselkedési jellemzőit az elmúlt 10 évben jellemzően – az előírási kötelezettség illetve az eszközök hiánya miatt – nem vizsgálták. Az elmúlt 2 évben a COLAS Hungáriánál végzett vizsgálatok során nem csak speciális aszfaltkeverékek, hanem az általános, széles körben alkalmazott mindennapi keverékek is vizsgálatra és kiértékelésre kerültek. A vizsgálatok eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

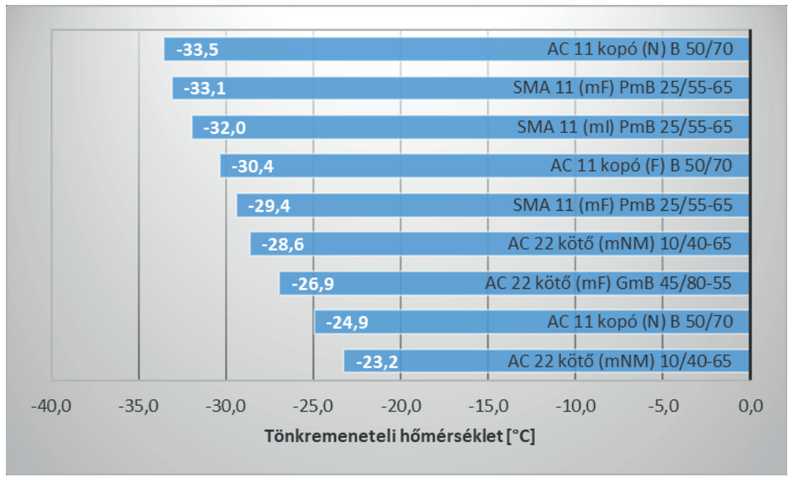
1. kép – A TSRST eljárás vizsgálati elrendezése

1. táblázat – A COLAS Hungária Központi Laboratóriumában TSRST vizsgálatnak alávetett aszfaltkeverékek hidegviselkedési jellemzői

Aszfaltkeverék típusa	Termikus húzófeszültség [MPa]	Repedési hőmérséklet [°C]
AC 11 kopó (N) B 50/70	1,692	-33,5
AC 11 kopó (N) B 50/70	2,317	-24,9
AC 11 kopó (F) B 50/70	2,089	-30,4
SMA 11 (mF) PmB 25/55-65	3,684	-29,4
SMA 11 (mF) PmB 25/55-65	2,523	-33,1
SMA 11 (mI) PmB 25/55-65	1,852	-32,0
AC 22 kötő (mNM) PmB 10/40-65	3,416	-28,6
AC 22 kötő (mNM) PmB 10/40-65	3,099	-23,2
AC 22 kötő (mF) GmB 45/80-55	3,786	-26,9

Az eredmények igazolják a korábbi kutatások következtetéseit, ahol a kötőanyag minőségi jellemzői mellett annak aszfaltkeverékben lévő mennyiségét is a hidegviselkedését befolyásoló tényezők közé sorolták. A kötőréteghez gyártott aszfaltkeverékek repedési hőmérséklete – az alkalmazott bitumenes kötőanyagok és az alacsonyabb bitumentartalom miatt – alacsonyabb volt. Az SMA keverékek tönkremeneteli hőmérsékletei a várt tartományban alakultak. Az útépítési bitumennel készült keverékek közül volt nem várt kedvező eredmény is (4. ábra).

Ahhoz, hogy COLAS Hungária ZRt-nél a keveréktervezés során – nem feltétlen elsődleges, de – tervezési szempont legyen az aszfaltkeverékek hidegviselkedési jellemzője, további vizsgálatok szükségesek, köztük olyan speciális kötőanyagokkal vagy adalékszerekkel, mint a gumibitumen (kopórétegben) vagy a mészhidrát - amely közismert tapadásjavító tulajdonságáról.



4. ábra – A vizsgált aszfaltkeverékek tönkremeneteli hőmérséklete

A 4. ábrán látható eredmények jól szemléltetik, hogy a nagyteljesítményű kopórétegkeverékek (SMA) kedvezően a -30°C körüli vagy az alatti hőmérséklet-tartományban teljesítettek. A kiugró, AC 11 kopó (N) B 50/70 aszfaltkeverék teljesítménye valószínűleg nem a B 50/70 típusú útépítési bitumen jellemzőitől, hanem a keverék hidegviselkedésre kedvező hatással lévő összetételéből adódóan teljesített a vártnál jobban. Ez is alátámasztja, hogy e paraméter további elemzésére van igény. A kötőrétegben használt keverékek alacsonyabb repedési hőmérséklete a burkolatban feltételezett hőmérsékleteloszlás miatt nem szabad, hogy ilyen jellegű igénybevétel hatására tönkremenetelt okozzon.

Ugyan a vizsgálatok száma – a hidegviselkedési vizsgálatok adatgyűjtési jellege miatt – egyelőre csekély mennyiségű, de a keverékek kijelölése és vizsgálata tovább folytatódik, hogy azok eredményeit felhasználva minden szempontból kedvezőbb viselkedésű aszfaltkeverékek gyártása történhessen meg a COLAS csoport aszfalt-keverőtelepein.

4. Összefoglalás

Jelenleg a hazai aszfaltkeverékekre vonatkozó előírások nem tartalmaznak követelményeket az aszfaltkeverékek hidegviselkedésére. Ugyan a meteorológiai adatok és a klimatikus modellek a hőmérséklet emelkedésére és a csapadékmennyiség csökkenésére mutatnak rá, a szélsőségek előfordulásának növekedésével is számolnak. Az aszfaltkeverékek szempontjából a gyors hőmérséklet-csökkenéssel járó és a negatív hőmérsékleti tartományban végződő lehűlések előfordulására lehet számítani. Ez a jelenség – a nehézgépjármű forgalomból adódó terheléssel együtt – az aszfaltburkolatokon termikus repedések keletkezését idézhetik elő, amennyiben az aszfaltkeverék húzószilárdsága alulmarad az ébredő szuperponált húzófeszültségekkel szemben.

Hazai és nemzetközi kutatások egyaránt foglalkoztak már a hidegviselkedési vizsgálatok kérdésével, azonban adatgyűjtés jellegű vizsgálatsorozatok eredményei ritkán vagy nem kerültek publikálásra. A COLAS Hungária Zrt. Technológiai Igazgatóság Központi Laboratóriumában folyamatosan, adatgyűjtő jelleggel kerülnek kijelölésre és vizsgálatra a cégcsoport keverőtelepein gyártott aszfaltkeverékek, hogy idővel – főleg – az alapanyagok kiválasztásánál szempont lehessen a keveréktől várható hidegviselkedési jellemző is.

Ugyan az eddig vizsgált aszfaltkeverékek sora korántsem fedi le a gyártási palettát, de a Technológiai Igazgatóságon megforduló speciális (pl. GmB-t, mészhidrátot tartalmazó) keverékek vizsgálatával együtt jelentős adatbázis építhető fel akár a későbbi – a hidegviselkedési oldalon is – teljesítményelvű keveréktervezési eljárásokhoz is.

Irodalomjegyzék

Benkő Zoltán: „Az aszfaltgyártás technológiai folyamata során elszívott por töltőanyagként (filler) történő felhasználásának lehetőségei, a felhasználás gazdasági-környezetvédelmi kérdései”, TDK tanulmány, Széchenyi István Egyetem, 2011.
Blab, Ronald és Eberhardsteiner, Lukas: „A teljesítménykövetelmények figyelembevétele aszfaltburkolatú utak számításon alapuló méretezésénél„, tudományos közlemény, Útügyi Lapok, 5. évfolyam, 1. szám (2017) pp. 67-77.
Géber Róbert: „Mészkőliszt és dolomit töltőanyagok hatása aszfalthabarcsok reológiai tulajdonságaira”, Útügyi Lapok, 1. évfolyam, 1. szám (2013), pp. 1-12.
Gribovszki et al.: „A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre” Útügyi Lapok, 8. évfolyam, 13. szám (2020), pp. 1-16.
MSZ EN 12697-46:2012: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. 46. rész: Termikus repedésképződés és a hidegviselkedési tulajdonságok vizsgálata alacsony hőmérsékleten egytengelyű húzással.
Primusz et al.: „Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv“, Kutatási jelentés. Megrendelő: Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, 2016.
Tóth Csaba és Szentpéteri Ibolya: „Klimatikus hatások figyelembevétele a behajlási adatsorok kiértékelése során”, Útügyi Lapok, 2. évfolyam, 4. szám (2014), pp. 89-97.
Török Kálmán és Pallós Imre: „Az aszfaltok téli hidegviselkedését befolyásoló anyagtulajdonságok laboratóriumi vizsgálatai”, Útügyi Lapok, 3. évfolyam, 5. szám (2015), pp. 36-54.

HAPA TAGVÁLLALATAI

Aszfalt Hungária Kft.
H-2225 Üllő,
Belterület, hrsz. 3753.
https://euroaszfalt.hu

Budapest Közút Zrt.
H-1115 Budapest,
Bánk bán u. 8–12.
https://budapestkozut.hu

Colas Közlekedésépítő Zrt.
H-1113 Budapest
Bocskai út 73.
https:/colas.hu

Colas Út Zrt.
H-1113 Budapest,
Bocskai út 73.
https://colas.hu

DÉLÚT Kft.
H-6750 Algyő,
Kastélykert u. 171.
Pf: 4
https://delut.hu

Duna Aszfalt Út és Mélyépítő Kft.
H-6060 Tiszakécske,
Béke u. 150.
https://www.dunaaszfalt.hu

Hazai Építőgép Társulás Zrt.
H-2351 Alsónémedi,
Ócsai út 2405/4 hrsz.
https://www.epitogep.com

He-Do Kft.
H-3261 Pálosvörösmart,
Hagyóka u. 1.
https://he-do.hu

MOL Nyrt
H-1117 Budapest,
Október 23. u. 18.
https://mol.hu

OMV Hungária Ásványolaj Kft.
H-1117 Budapest,
Október Huszonharmadika utca 6–10.
https://www.omv.hu

PENTA Kft.
H-2100 Gödöllő,
Kenyérgyári u. 1/E.
http://pentakft.hu/

„SOLTÚT" Kft.
H-6320 Solt,
Kecskeméti u. 34.
http://soltut.hu

Swietelsky Magyarország Kft.
H-1016 Budapest,
Mészáros utca 13.
http://swietelskymagyarorszag.hu

Útéppark Útépítő és Mélyépítő Kft.
H-8000 Székesfehérvár,
Szlovák utca 6.
http://uteppark.hu

VértesAszfalt Kft.
H-2800 Tatabánya,
Réti út 174. Fsz. 4.
http://vertesaszfalt.hu

HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

Ammann Austria GmbH
Anzing 33
A-4113 St. Martin im Mühlkreis

AUMER Kft.
H-1112 Budapest,
Reptéri út 2.

BHG Bitumen Kft.
H-1117 Budapest
Gábor Dénes utca 2. Infopark D épület
Telefon:+ 36 1 358 5061

BME Út és Vasútépítési Tanszék
H-1111 Budapest
Műegyetem rkp. 3.

Carmeuse Hungária Kft.
H - 7827 Beremend
0641/1 hrsz. (Pf: 40)

Csillagszer Kft.
H-3700 Kazincbarcika
Erdész u. 10.

EuroAszfalt Kft
H - 2225 Üllő
belterület 3753 hrsz.

EULAB Kft.
H- 2120 Dunakeszi
Székesdűlő 135.

Huntraco Kereskedelmi és Szolgáltató Zrt.
H-2040 Budaörs
Kamaraerdei út 3.

INNOTESZT Kft.
H – 2225 Üllő
Zsarókahegy hrsz. 053/30.

INNOVIA Kft.
H- 2541 Lábatlan
Dunapart 1605/2 hrsz.

ITERCHIMICA S.R.L.
Via G. Marconi, 21,
24040, Suisio (BG), Italy

KONSTRUKTÍV Kft.
H-1165 Budapest
Nyílvessző u. 24.

Mélyépítő Labor Kft.
H-1144 Budapest,
Füredi út 74-76.

Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság
H-1024 Budapest
Fényes Elek u. 7-13.

Omya Hungária Mészkőfeldolgozó Kft.
H-3300 Eger,
Lesrét utca 71.

Prímaenergia Zrt.
H- 1117 Budapest
Budafoki út 56.
Levelezési cím: 3014 Hort, Pf.29.

Profi-Bagger Kft.
H – 2051 Biatorbágy
Tormásirét u. 6.

Rec-Plus Kft.
H-3200 Gyöngyös
Felső-Újvárosi utca 2.

Rettenmaier Austria GmbH & Co.KG
A-1230 Wien
Rudolf-Waisenhorn-Gasse 18.

Tarnóca Kőbánya Kft.
H- 2045 Törökbálint
Torbágy u. 20.

TPA HU Kft.
H-1097 Budapest
Illatos út 8.

STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
H – 1043 Budapest
Dugonics u. 11

ÚTLABOR Kft.
H- 9151 Abda
Bécsi út 15.

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

Wirtgen Budapest Kft.
H-2363 Felsőpakony
Erdőalja u. 1.

ASZFALT
HUNGÁRIA

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.