

Az Aszfalt

A Magyar Aszfalttípari Egyesülés

hapa

hivatalos lapja

XXXII. ÉVFOLYAM 2025/1. szám



**Komoly szakmai előadásokkal
várjuk az érdeklődőket
2026. február 17-18-án Siófokon,
a HAPA 26. Nemzetközi konferenciájára.**



Asphalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

2025
június

BITUMEN

A MOL-csoport Közép-Kelet Európa meghatározó bitumen gyártója és értékesítője.

Termékeinkkel 16 országban vagyunk jelen, évente több mint 550.000 tonna bitumént értékesítünk a régióban.

Termékcsoport: Portfólió:

ÚTI BITUMEN 20/30, 35/50, 50/70, 70/100, 160/220

MODIFIKÁLT BITUMEN 10/40-65, 25/55-65, 45/80-65, 45/80-75 RA

GUMIBITUMEN 45/80-55

IPARI BITUMEN 85/25, 85/40, 95/35, 105/25

550.000

TONNA ÉVES ELADOTT
MENNYISÉG

14

BITUMEN TÍPUS

16

ORSZÁGBAN
AKTÍV JELENLÉT

UTAK ÚJRAFELDOLGOZOTT ASZFALTBÓL - MOL PMB RA BITUMEN



- ▶ MOL PmB 45/80-75 RA - polimerrel modifikált bitumen
- ▶ Megnövelt modifikálószer tartalommal rendelkezik
- ▶ Visszanyert aszfalt felhasználásával készült aszfaltok gyártásához kifejlesztve a MOL kutatás-fejlesztés szakemberei által

ÚJGENERÁCIÓS ASZFALT - MOL GUMIBITUMENNEL



- ▶ MOL egyedi szabadalom, az Útügyi Műszaki Előírások (UME) része
- ▶ 20 kt/év gyártási kapacitás a MOL Zalaegerszegi Bitumen Üzemében
- ▶ 2011 óta több mint 200 km új gumibitumenes út és autópálya szakasz itthon és a környező országokban
- ▶ Független mérési eredményekkel alátámasztott előnyök alapján a PmB alternatívája

Tartson Ön is velünk a jövő útján!

További
információk



TARTALOMJEGYZÉK

Nagy Kristóf György – Gerencsér Máté — Makroérdesség mérésének alternatív megoldása	3
Matteo Fumagalli — Gráfen tartalmú aszfalt módosító: a PmA technológia evolúciója	14
Schubert István – Schubert András — Típus-pályaszerkezet szerinti méretezés alkalmazása kisforgalmú lakóutakra az „altalaj-faktor” figyelembevételével	17
Zsichla László — Az aszfaltkeverék mechanikai tulajdonságainak magyarázata a részecskék, molekulák viselkedése alapján	28
Dr. Geiger András – Király Ákos – Dr. Skronka Gábor — Habosított- és újrahaznosított gumibitumenes aszfaltok és a hazai gumibitumen elmúlt 12 éve	52
Foeke Elzinga — Az újrahazsnálatról a „zöld címkéig”: Fejlesztések a holland aszfaltiparban	67
Lancsák Ildikó — Fenntartható aszfaltipar, „zöld megoldások” az útépítésben	70
Szabó Róbert — Építési termékek környezeti fenntarthatóságra vonatkozó alapvető jellemzőinek szabályozása	76
Roszik Gábor — Vigyázat EPD! - Aszfaltkeverékek környezetvédelmi terméknyilatkozatának készítése	79

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:
 COLOR Reklámstúdió-www.silbernyomda.hu
Hirdetésfelvétel:
 Magyarországon a szerkesztőségben
Terjesztés: a szerkesztőségén keresztül
 2500 Ft/példány+postaköltség
 ISSN 1217-7830

Tisztelt Kollégák!

Az elmúlt évben Magyarország aszfalt termelése 4.105 ezer tonna volt, ami elfogadható mennyiség az előző év 3.704 ezer tonnájához viszonyítva. Ez az enyhén növekedő termelés a HAPA tagoknál is érezhető volt, ami nagyon fontos a tagsági díjak enyhe növekedése miatt is. Mi a tagjaink által fizetett tagdíjakból élünk, és az Önök jó teljesítménye a mi bevételeinkre is jó hatással lehet. Gratulálunk minden tagunknak, és hasonló, vagy sikeresebb évet kívánunk erre az ideire is.

Mi magunk is eredményesnek mondhatjuk az elmúlt évet, mert mindkét konferenciánkat sikerült megtartanunk. A 18. Fiatal Mérnökök Fórumán 90 fő vett részt, a XXV. HAPA konferenciára pedig 220-an voltak kíváncsiak. A Konferenciánk is jól szolgálták a céljainkat, a műszaki fejlődésünk támogatását.

Az újságunk 800 példányban készül, de nem csak papír alapon, hanem a honlapunkon is megtekinthető, amit minden érdeklődő szabadon letölthet.

Három új tagunkat köszöntök: **Mészáros M1 Útépítő Kft., V-Híd Kft.,Vértes-Út Kft.**

Belépő új Társult tagjaink is vannak: **Andreas Kft., HDH-Chemie Kft., LeiCON Hungary Kft., Labo WTC Hungary Kft.**

Három tervezett programunkra szeretném a figyelmüket felhívni:

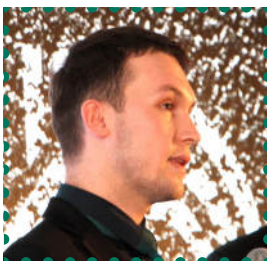
- Lapunkban is meghirdetett 19. Fiatal Mérnökök Fórumára, amelynek helyszíne Budaörsi Holiday Inn Hotel lesz, 2025. november 18.-án.
- Már most jegyezzék elő a HAPA XXVI. konferenciájának időpontját, amit 2026. február 17-18-án tervezünk megtartani.
- Egy kis kihagyás után ismét tervezünk tanulmányutat, amire két lehetőséget látunk. Vagy Olaszország, vagy Németország lesz a célpont.

Veress Tibor Igazgató



Makroérdesség mérésének alternatív megoldása

Nagy Kristóf György



BSc Építőmérnök hallgató
Széchenyi István Egyetem



Gerencsér Máté

BSc Építőmérnök hallgató
Széchenyi István Egyetem

Inspirálódás

Az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb figyelmet fordítanak a nemzetközi szabványokra és az ütügyi műszaki előírások azokkal való harmonizációjára. Ez segít abban, hogy az úthálózatok minőségi követelményei összehangoltabbak legyenek világszerte, ami elősegíti a minőség és a közlekedésbiztonság javítását is. A szabványosítás megélépése után, jelen korunkban, egyértelműen a szabványok modernizációs folyamatain van a hangsúly, hogy a régi módszereket hogyan tudjuk jobba, hatékonyabbá és egyszerűbben elvégezhetővé tenni. Ezen inspirációk hatására kezdtük témavezető tanárunk ajánlására az elkövetkezőkben kifejtendő témánkat melyet a jövőben szeretnénk jelen kutatásunknál tovább mutatóvá fejleszteni.

Bevezetés

Az általunk elvégzett kutatás alapjául az MSZ EN 13036-1:2010-ben tárgyalt térfogat alapú burkolatfelületek makroérdesség-mélységének mérésére szolgáló eljárás szolgál, melyben ki van fejtve, a hagyományos vizsgálat eljárása, annak történeti áttekintését, valamint a módszer precizitását.

A szabványban foglaltak alapján, a módszer ismételhetősége igen jónak tekinthető, a vizsgáló laboráns személye csupán maximum 2%-al befolyásolja a vizsgálat eredményét, azonban az eltérő helyeken végzett

vizsgálatok szórása elérheti az átlagos érdességmélység 27%-át mely egy olyan vizsgálat során amely egy nagy területet minősít kis mérésszám alapján igen jelentős eltéréseket is okozhat melyek akár minősítésbeli problémákhoz is vezethetnek. Egészen pontosan a jelenleg, érvényben lévő e-UT 06.03.21/M1 ütügyi műszaki előírás szerint, „A kopórétegek felületén a makroérdességet minden forgalmi sávban 3000m²-ként kell vizsgálni. Egy adott vizsgálati helyen a négy vizsgálati pontot egy keresztoszlelvényben, egy sávban az alábbi helyeken szükséges kijelölni: -külső keréknyom – sávközép – belső keréknyom - belső keréknyom és a sáv belső széle közötti távolság felében.” „Az (N) jelzetű, kopóréteggént épített keverek típusok esetén a makroérdesség adatgyűjtési jellemző.”

Tehát egy 3.5m széles kiemelt szolgáltatási színvonalú úton közel ~850m hosszú burkolati felületünk van (kisebb sáv szélességű utak esetében még több) amin 1 keresztmetszetben el kell végezni kötelező érvényűen a minősítési vizsgálatot ami jellemezni fogja az egész, hozzá tartozó szakaszt. Természetesen egy úton teljes hosszában egy mérés alapján minősíteni nem lehet. A vizsgálati helyek számára is vonatkozik minimális érték (1. táblázat) amivel már lehet minősíteni egy akár az egy mérési helyhez tartozó felületnél kisebb felületű burkolati szakaszt is.

A küszöbszint megnevezése	Vizsgálati helyek száma			
	≥10	5-9	2-4	1
Átlag előírt határ M _{eth} , mm, legalább	I. kategória			-
	0,55	0,53	0,51	
	II. kategória			
	0,46	0,45	0,43	
	II. kategória			
Átlag megfelelőségi határ M _{amh} , mm, legalább	0,38	0,37	0,36	-
	I. kategória			
	0,50	0,47	0,43	
	II. kategória			
	0,42	0,40	0,37	
Egyedi megfelelőségi határ M _{amh} , mm, legalább	III. kategória			
	0,35	0,33	0,31	
	I. kategória: 0,50			
	II. kategória: 0,42			
	III. kategória: 0,35			
Egyedi előírt határ M _{eth} , mm, legalább	I. kategória: 0,40			
	II. kategória: 0,35			
	III. kategória: 0,30			

1. táblázat: Makroérdesség követelményei az I., II, és III. makroérdességi kategóriába tartozó keverékek esetén az e-UT 06.03.21/M1 26. táblázata szerint.

Igénybevételi kategória		
Normál (N) ill.könnyű (P)	Fokozott (F)	Intenzív (I)
A S Z F A L T B E T O N		
AC 8 kopó (N) AC 11 kopó (N) AC 16 alap-kopó (N)	AC 8 kopó (F), AC 8 kopó (mF) AC 11 kopó (F), AC 11 kopó (mF) AC 16 kopó (F), AC 16 kopó (mF)	-
Csak kerékpár és gyalogútra tervezhető: AC 4 kopó (N)		
AC 8 kopó (F) AC 11 kopó (F) AC 16 kopó (F)		
A S Z F A L T B E T O N N A G Y O N V É K O N Y		
(Zajcsökkentő hatású kopóréteg, Útfelújításoknál kizárólag megfelelő teherbírási és profilhelyes rétegekre tervezhető. Megfelelő téli üzemeltetésről gondoskodni kell.)		RÉTEGEKHEZ
BBTM 8 B (mF) BBTM 11 B (mF)	BBTM 4 A (mF) BBTM 8 A (mF) BBTM 11 A (mF) BBTM 8 B (mF) BBTM 11 B (mF)	Ha a zajcsökkentési igény elsődleges követelmény BBTM 8 B (mF) BBTM 11 A (mF) BBTM 11 B (mF)
Z Ú Z A L É K V Á Z A S		
M A S Z T I X A S Z F A L T		
SMA 8 (mF) SMA 11 (mF)	SMA 8 (mF) SMA 11 (mF) SMA 8 (ml) SMA 11 (ml)	SMA 8 (ml) SMA 11 (ml)
Ö N T Ö T T		
A S Z F A L T		
MA 8 (N) MA 11 (N) Szükség szerinti érdesítésként 5-12 kg/m ² KZ 2/4 vagy KZ 4/8 zúzalékot kell kiszórni, behengerelni Csak kerékpár és gyalogútra tervezhető. MA 4 (N)	MA 11 (F), MA 11 (mF) Érdesítésként 12-18 kg/m ² bitumennel impregnált KZ 8/11 zúzalékot kell kiszórni, behengerelni	Nem építhető (Kivéve ha vízelvezető szélső sávként, vagy csatlakoztatási céllal épül)

2. táblázat: Aszfalt kopóréteggént tervezhető e-UT 05.02.11 szerinti keverék típusok

A hagyományos vizsgálat eljárása:

A mérendő burkolatfelületet ellenőriztük és kiválasztottunk egy száraz, homogén területet, amelyen nem volt semmiféle egyedi eltérés, mint például repedések vagy hézagok. A felületet alaposan megtisztítottuk, először egy kemény sörtéjű drótkéfével, majd ezt követően a lágy sörtéjű ecsettel, majd lesepertünk minden maradványanyagot, törmeléket vagy laza kötést ásványi szemcséket is. A vizsgálat elvégzése során szélvédő alkalmatosságot is kellett rögtönöznünk a tavaszi időjárási viszonyok miatt.



Drótkéfé tisztítás



Lágy sörtéjű ecsetes tisztítás

Mintaanyag: Az ismert térfogatú hengert megtöltöttük száraz anyaggal, aminek az alját néhányszor finoman megütöttük egy keményebb felülethez. Ezután további anyaggal töltöttük meg ismételt és a jelzés tetejéig. Ha rendelkezésre áll egy legalább 0,1g pontosságú laboratóriumi mérleg, akkor meghatározhatjuk a hengerben lévő anyag tömegét, ezután minden egyes mérésnél ugyanilyen tömegű mintaanyagot tudunk mérni.



Térfogat alapon kimért mintaanyag



Mintatartó edény értékével tárazott mérleg

A térfogat vagy tömeg szerint bemért anyagot a letisztított felületre öntöttük. Az anyagot a keménygumi felületű koronggal terítettük el úgy, hogy az egy kör alakú foltot képezzen, miközben az ásványi szemcsék csúcsai között az anyag színültig kitölti a felületi hézagokat. Az anyagterítés során a korongra kézzel gyenge nyomást enged a szabvány kifejtési, de csak annyit, hogy jelentős tömörítő hatás ne képződjön. A kerület mentén egyenlő távolságban felvett legalább négy pontban mértük le és jegyeztük fel az anyag által lefedett kör alakú terület átmérőjét, mely a szabványban előírt módnak tökéletesen megfeleltethető.



Példa az elvégzett vizsgálatokból

Az elvégzett vizsgálatok nyomán a szabványban megadott módszerrel elvégezhetjük a számítási feladatokat. Ehhez az alábbi, képletet használunk. Az eredményeket a 3. táblázatban rögzítettük.

$$MTD = 4 V / \pi D^2$$

MTD az átlagos textúra mélység, mm;

V a minta térfogata (azaz a henger űrtartalma), mm³;

D a mintaanyaggal fedett terület átlagos átmérője, mm.

Homokminta száma	Tömeg [g]	Térfogat [mm ³]	Átmérő 1 [mm]	Átmérő 2 [mm]	Átmérő 3 [mm]	Átmérő 4 [mm]	Átlag átmérő [mm]	MTD [mm]	Átlagos MTD érték [mm]
1	41,16	25000	161,55	152,40	150,55	162,70	156,80	1,29	1,28
2	41,15	24994	157,40	150,40	147,95	147,45	150,80	1,40	
3	41,18	25012	167,20	164,90	167,80	166,25	166,54	1,15	
4	41,15	24994	156,95	170,25	164,90	170,45	165,64	1,16	
5	41,18	25012	235,55	218,40	234,40	225,10	228,36	0,61	0,65
6	41,15	24994	236,75	223,35	231,65	223,20	228,74	0,61	
7	41,2	25024	226,45	218,65	211,75	222,40	219,81	0,66	
8	41,19	25018	222,00	215,95	221,75	224,60	221,08	0,65	
9	41,16	25000	134,45	144,40	147,30	136,80	140,74	1,61	1,09
10	41,17	25006	175,55	168,90	170,25	179,50	173,55	1,06	
11	41,16	25000	172,85	163,35	176,40	166,35	169,74	1,10	
12	41,18	25012	204,10	207,85	199,20	211,20	205,59	0,75	

3. táblázat: A hagyományos makroérdesség mérés értékelt eredményei

Digitális vizsgálat elvégzése

A digitális mérés előkészítési munkái kevésbé időigényesek mint a hagyományos mérésnek ugyanis itt nem kell előre kiterítendő homokmintát kimérni, hanem egyszerűen csak a használt eszközöket kivisszük a helyszínre, ahol a vizsgálatokat elvégezzük. Ezt követően a vizsgálandó, avagy beszkenneendő felületet por és egyéb szennyeződéstől mentessé kell tenni, ehhez a hagyományos mérésnél leírt módon tisztítottuk meg a felületet. Nagyobb tisztaságot kézi porszívóval kiegészítve tudjuk garantálni. A szélárnyékolóként használt kartonpapírral egy nagyjából befoglaló területet festettünk fel, amellyel a beszkenneelt terület lett.



Beszkenneendő felület kijelölése



Szkenelés a kijelölt felületen



Mérőrendszer összeállítása

A mérőrendszer összeállítását és használatát jelenleg nem szabályozza előírás vagy szabvány. A rendszer felállítása után a software begyakoroltatja a felhasználóval a szkennerek a helyes használatát, hogy hogyan milyen szögben és milyen távolságra kell tartani a szkennert a szkennelendő felülettől, hogy az a lehető legpontosabb képet tudja visszaadni. Ezt a szkennelés elkezdésekor, amelyet a szkenneren elhelyezett nyomógommbal lehet elindítani minden egyes szkenneléskor elvégzetteti a program. Ennek a kijelzéséhez a kijelzőn megjelenő csúszkát használja, amely mutatja, hogy éppen aktuálisan mekkora mennyiségű használható adatot képes előállítani a szkennert tartásától függően.

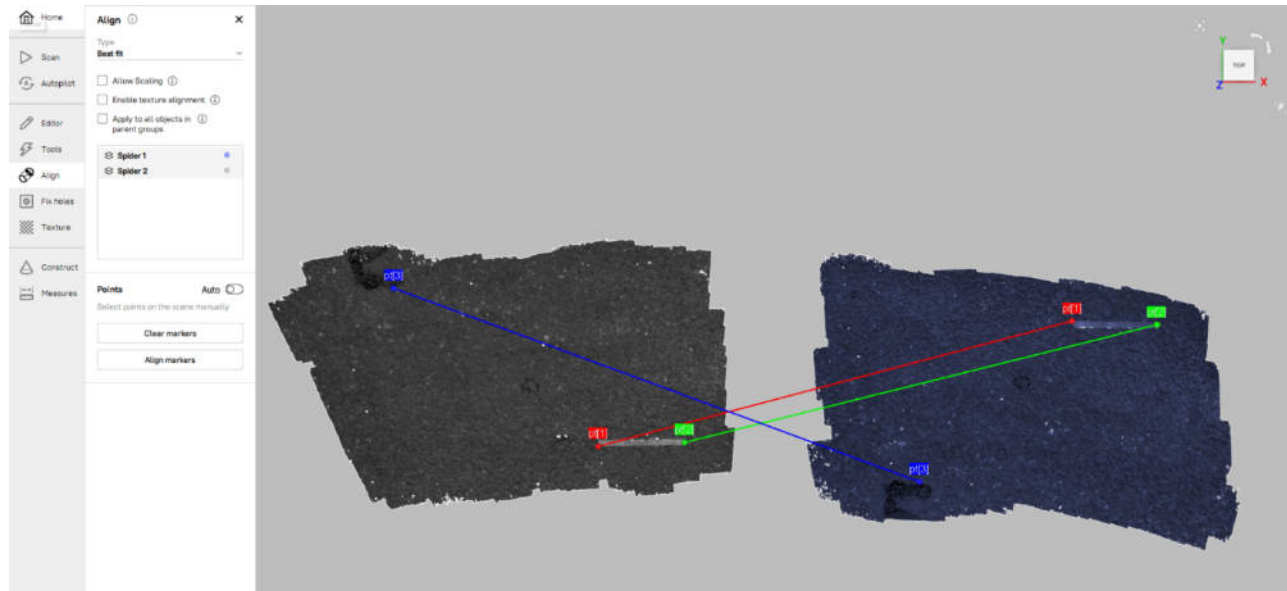
Ezt követően a nyomógomb újbóli megnyomásával már az éles szkennelés indul el a szoftverben, amely már rögzíti is az adatokat.

Az eszköz digitális fotogrammetriai alapokon végzi a méréseket és a testek 3D modell alakítását. A minél pontosabb modell felépítése érdekében legalább 2 oldalról készítettünk minden egyes felületről beszkenneelt mintát.

A terepi munkahelyvégzésének gyorsítása érdekében, ezeket a beszkenneelt felületeket első körben csak rendszerben elmentettük, hogy majd a későbbiekben összeállítsuk belőlük az elkészült 3D modellt. A két vizsgálatnak a sorrendiségét a felület tisztasága szabta meg, először szkennelni kellett, hogy utána a hagyományos vizsgálat elvégzésekor fel lehessen tölteni a felületet a mérőanyaggal.

Modell elkészítése

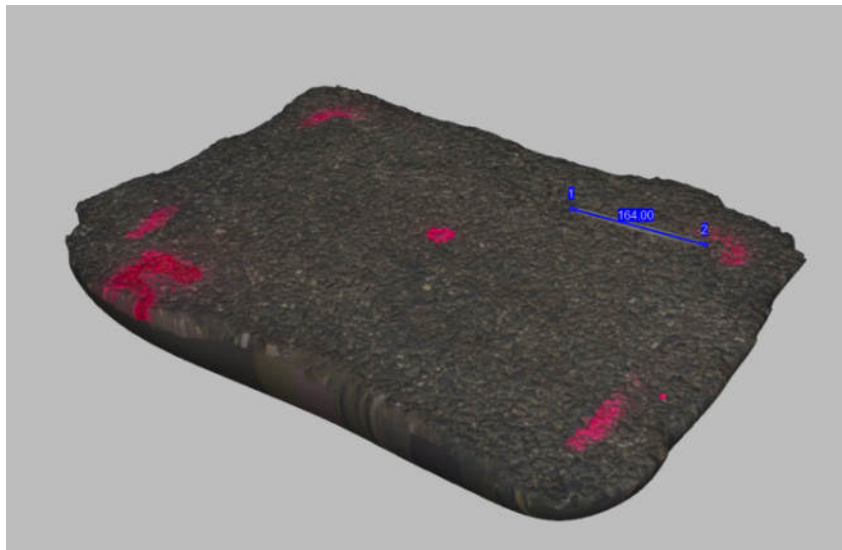
A modell megalkotása a mérőrendszerhez tartozó Artec Studio 18.0-ban készül. A modell alkotáshoz betöltjük az előzetesen beszkenelt, majd a lementett felületeket. Ezek a beszkenelt felületek, mivel egymással nem megegyező oldalról készültek, így egymáshoz képest tükrözve vannak, ezért elsősorban a legfontosabb dolog az egymásra illesztése a felületeknek, ezt az „align” paranccsal lehet elvégezni a cél szoftverben, amelyhez legalább három jellemző pont megadása szükséges.



Szkennelt felületek összeillesztése

Az elkészült modell méret helyesség ellenőrzésének elvégzésére egy vonalzót használtunk, amelyet tekintettel arra, hogy az aszfalt különböző hőmérsékleteket képes felvenni, különböző hőmérsékleti viszonyok között hitelesítettünk. A beszkeneléskor lemért aszfalt hőmérsékletekhez viszonyítva kiszámoltuk, hogy mekkora lehet a vonalzónk abban az esetben, hogyha átvette a hőjét az aszfaltnak. Kis idő elteltével a napsugárzásból is vett fel hőmérsékletet a vonalzó, ami így körülbelül 22 Celsius fokosra melegedett fel. Ez nagyjából 164 milliméteres hosszt jelent a beszkenelt modelleken, amelyeknek birtokában már fel tudtuk nagyítani vagy éppen le tudtuk kicsinyíteni az elkészült modelleket, így méret helyessé téve a digitalizált mintafelületet.

A modell mérethelyessé tétele után következhet a koordinátahelyessé tétel. Mivel nem tud tökéletes síkot rá illeszteni a szoftver önmagától a test felszínére, így nekünk kellett iterációval elérni azt, hogy a lehető legkorrektebben síkfelületként jelenjen meg a modell felszíne, ami a vizsgálat szempontjából azért lényeges mert így kapjuk a testfelszín szempontjából leginkább a mediánjában elhelyezkedő viszonyítási síkot, amelyhez a Z koordinátákat viszonyítjuk. (Annyi pont legyen a sík fölött, mint alatta)



Lemért vonalzó az elkészített modellben

A modell elkészülte után ki lehet menteni az kész 3D testet, egyszerű 3D formátumban, nevezetesen mi stl-t használtunk, ami a „Standard Tessellation Language” nevet rövidíti, amit speciálisan a 3 dimenziós nyomtatók számára hoztak létre, hogy egy könnyű formátumot képezve a testet burkoló kis háromszög lapkákból álló testet hoz létre.

Mivel a szabvány maximum $d \geq 30\text{cm}$ kiterjedésű kiterített homokmintát enged, ezért kisebb hengereket vágunk ki a kész modellből, ezért ekkora felület kivágása is összehasonlítható alapot képzett a munkánk során.

Numerikus adatok feldolgozása

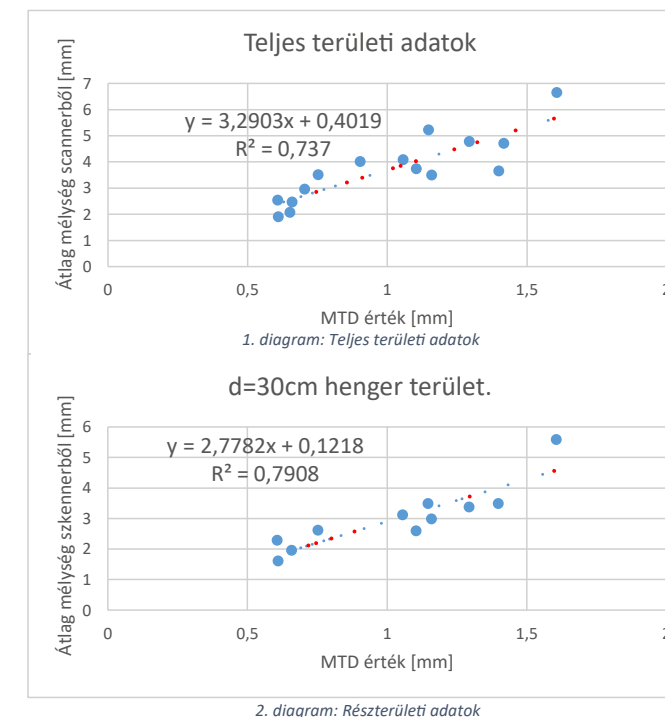
A pont koordinátákból kapott numerikus adatok feldolgozása Excel segítségével történik, amik a 4. és 5. táblázatban összefoglalva megtalálhatók. A beolvasott x-y-z koordinátákon első körben néhány alapműveletet és tulajdonság beállítást hajtottunk végre. Ilyen például a kiterjesztett növekvő sorba rendberendezése a Z koordinátáknak. Erre azért van szükség mivel minden mérést hiba terhel ezért a mérések felső és alsó szimmetrikusan összegzett összesen az adatok 5%-át, ami a beszkenelt területnek határ rétegeit jelenti azt egyszerűen levágjuk nem kezeljük, veszteségként tekintjük. Méréseink és vizsgálataink tapasztalata alapján kijelenthetjük, hogy az adatok 5%-nak a levágás még érdemben nem befolyásolta az eredményeket, ezért számoltunk azzal.

Max Z	1,31248486	mm
Min Z	-7,58994913	mm
Átlag	0,96282549	mm
Darab	82670	db
5% levágás	78537	db
szabv.hom.térf.	25000	m3
számolt átmérő	363,648	mm
d30 kör területe	70685,83	mm2
Egység pont	1,111071268	db/mm2

4. táblázat: Leszárt adatok példaszor

d=30cm henger terület					
MTD [mm]	Relatív mélység [A/MTD]	Számolt átmérő	Százalékos eltérés [x*100]	Átlag mélység scannerből [mm]	Pontsűrűség [db/mm2]
1,29	2,60	194,38	1,24	3,370	1,111
1,40	2,50	191,12	1,27	3,486	1,223
1,16	2,56	206,89	1,25	2,975	1,205
1,15	3,03	191,24	1,15	3,481	1,241
0,61	2,62	281,95	1,23	1,602	1,032
0,61	3,75	236,26	1,03	2,281	1,101
0,66	2,95	255,85	1,16	1,945	0,609
1,61	3,47	151,12	1,07	5,575	0,888
1,06	2,95	202,23	1,17	3,113	1,104
0,75	3,46	220,89	1,07	2,609	1,110
1,10	2,34	222,03	1,31	2,583	1,018

5. táblázat: Digitális mérések összegző táblázata d=30cm hengeres test esetén



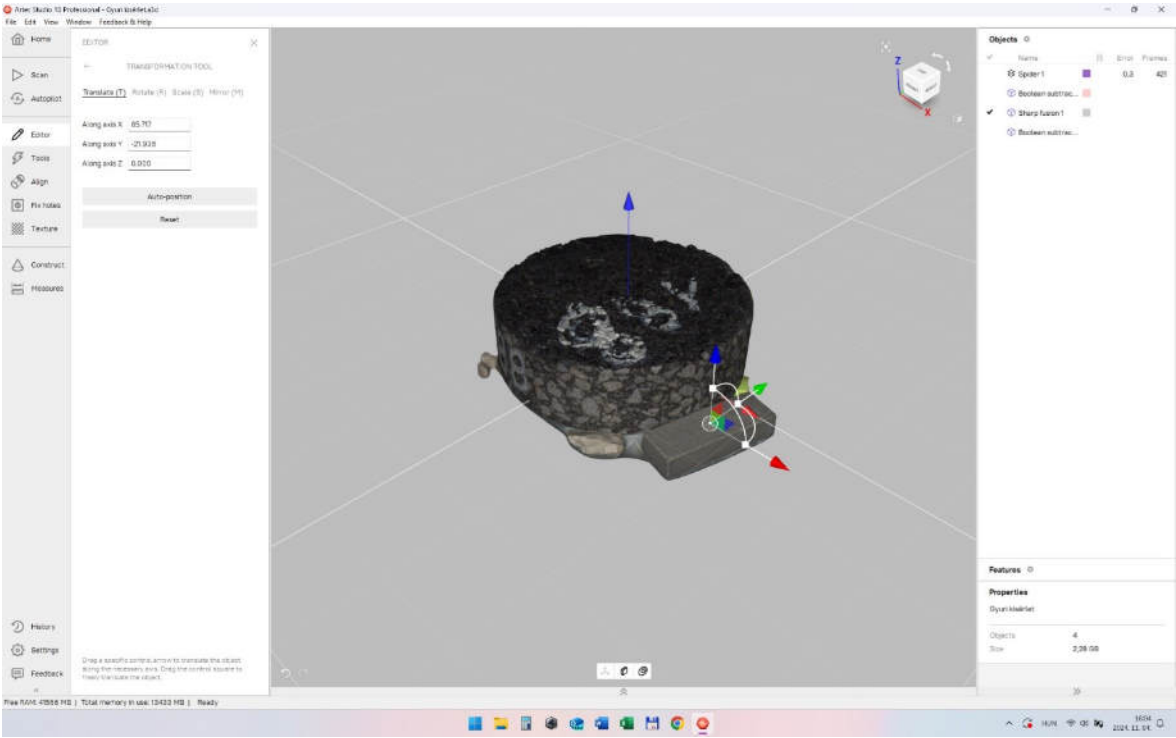
2. diagram: Részterületi adatok

Az 1. diagramon látható, hogy a lokális párokat képező adatsorok koordináta rendszerbe helyezve egyezséget mutatnak mégpedig, R0,74-es értékkel teljes terület esetén. Az R2 determinációs együttható azt mutatja meg, hogy az egyik változó a másik változó varianciáját milyen hányadban (hány %-ban) magyarázza. Vagyis Ha X értéke nő akkor az Y értéke is melyet egy R2=1 (100%) azaz tökéletes lineáris kapcsolatként értelmez.[1]

A 2. diagram pedig mutatja, hogy javult helyzet, ha egy a szabvány régebbi kiadásában maximálisnak tekintett 30cm átmérőjű hengerek felületi adatait vesszük csak figyelembe, ugyanis ezek az adatsorok már közel ~0,8-as R2 értékkel rendelkeznek, mely jelentős javulásnak tekinthető, annak ellenére, hogy csak egy szűkebb de egységes területet vizsgáltunk, nem módosítottunk sem a pontsűrűsége sem az elkészítési módon.

Fúrt magmintákkal való összemérés

Kutató munkánk végzése során lehetőségünk adódott nagyobb mennyiségű fúrt magminta bevizsgálására is. Itt az első kihívás az a 0 sík meghatározása volt, amihez viszonyítanánk a későbbiekben az összes pont Z koordinátáját. Első körben azt fogalmazódott meg bennünk, hogy elegendő az, hogyha egy segéd testtel együtt beszkenneľjűk ezeket a fúrt mintákat, és a segédtest síknak tekintett oldalára adjuk meg a 0 síkot. Ezek a szkennelések a laborban is elvégezhetők, egészen pontosan egy forgótárgyasztal alkalmazásával. Ezt a forgó tárgyasztalt saját magán nincs lehetőségünk vízszintes pozícióban hozni, Emiatt egymásra merőlegesen a felületén kettő irányban egy kézi vízmértékkelt vízszintes felületet állítottunk be. Így a forgó síkot, amelyen a tárgyasztal forog, vízszintesnek tekintettűk. Erre az általunk síknak beállított felületre helyezettűk rá a beszkenneľendő magmintákat, amely mellé elhelyezettűk az általunk etalonként használt betont testet.



Elhelyezett origópont a referencia testen

A hagyományos Descartes féle koordináta rendszert alapul véve, ahol az y a függőleges az x a vízszintes tengely, láthatjuk, hogy az általunk beszkenneľt minta, jelen példánkban egy kicsit balra és egy kicsit lefele tehát dél - délnyugati irányba helyezkedik el a teljesen központos helyzethez képest.

Ez egyszerűen korrigálható a minimum és a maximum értékek abszolút értékének az összegzésével majd pedig az átlagukat véve megkapjuk, hogy mi lenne, azaz érték, amit ha felvesz a minimum és a maximum akkor pontosan az origótól egyenlő távolságra helyezkednek el x y + - irányban a koordináták. Ezt neveztűk a 6. táblázatban a különbségnek mely értékekkel az összes koordinátát módosítottuk.

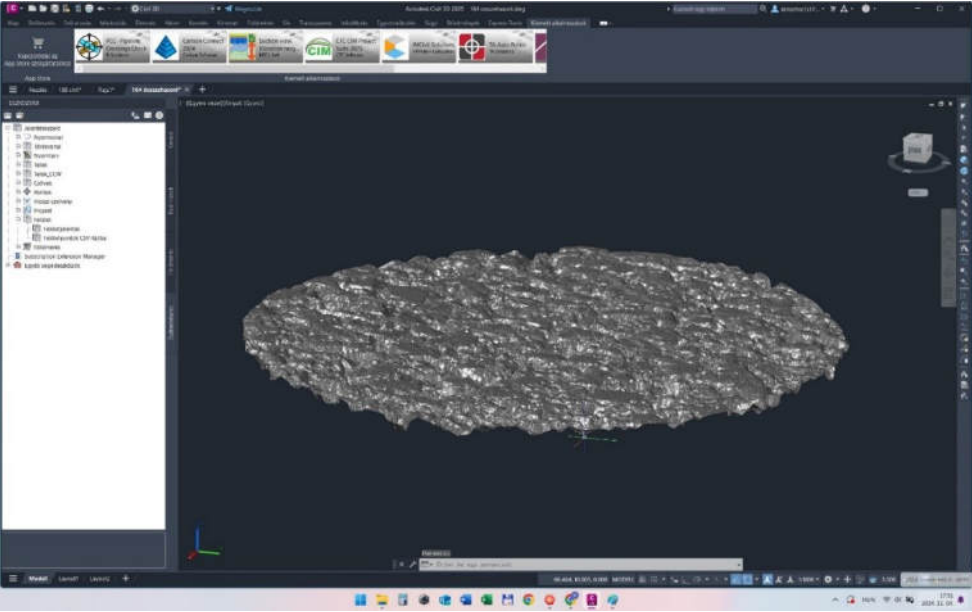
	Min.	Max.	Korrigált	Különbség
X	-77,28533241	70,56543732	73,92538071	3,35994339
Y	-75,47832489	72,42391205	73,95111847	1,52720642

6. táblázat: Eltolási értékek koordináta egységként

Az így elkészített pont adatokat pontfelhőként betöltve van lehetőségűk a Civil 3D programban egyszerűen geometriai eszközökkel szerkeszteni. Viszont a szoftver nem tud pontfelhőt kiexportálna, csak az abból létrehozott felületet alkotó pontokat képes lekérdezéssel 3 tizedes pontossággal visszaadni számunkra. Az alábbi képen látható a létrehozott felület valamit a felület kezelő eszköz, aminek a segítségével a felület alkotóinak a pontjait a civil képes exportálni CSV formátumban, amit már Excelben lehet újra kezelni (7. táblázat).

Easting (mm)	Northing (mm)	Elevation (mm)
-56,387	-78,618	-0,612
-56,391	-79,03	-1,007
-56,594	-78,814	-0,27
-56,167	-78,536	-1,249
-56,085	-79,230	-1,29
-56,476	-78,615	-0,416
-56,325	-79,022	-0,793
-56,795	-78,617	-0,171
-56,305	-78,630	-1,112
-56,233	-78,517	-1,153
-55,910	-78,624	-1,270

7. táblázat: Kiexportált adatsor a civil 3d programból



Civil 3d-ben megszerkesztett felület

Mivel érezhetően több a szoftverek közti ide oda ugrálás ennél a feldolgozási metódusnál. arra jutottunk, hogy meg kell vizsgálnunk az általunk mérhető helyeken az adatvesztés tényét, hogy fennáll e valamint ha igen mekkora. Ehhez ugyan azt a felületet előállítottuk Mind az Artec mind a civil 3d programban és a lekért adatsorok alapján 99,95%-os egyezés mutatható ki a két szoftver feldolgozási metódusai között, ami, elhanyagolható adatvesztésnek tekinthető.

Ez azonban még nem kész eredmény, ugyanis az eredményeket össze is kell tudni hasonlítani valamivel, így kellett egy metódus, hogy hogyan állítsunk elő lokális manuális eredményeket a digitális párjaikhoz.



Fordított elvű, hagyományos vizsgálat

Ezért kipróbáltuk, az azonos térfogatra alapozó, de változó átmérőre meghatározott hagyományos vizsgálati módszert kicsit átalakítva, azonban más elv mentén állandó átmérőre és változó térfogati alapon alkalmazni.

Egyszerűen az alap képletűnkben szereplő V térfogatot

$$\text{egy hányadosként beírva } \left(\frac{\text{Kiinduló tömeg} - \text{lehullott tömeg}}{\text{Térfogatsúly}} \right)$$

igyekeztűnk előállítani az MTD értékeket. Azonban azt tapasztaltuk, hogy jelentős eltérések vannak az így meghatározott lokális értékek között. Mint az a 8. táblázatban látható körülbelűl duplájára túlbecsűli az értékeket a módszer.

MTD [mm]	Scan átlag [mm]	Terület [mm2]	Átszámolt MTD	Eltérés [%]
0,94	7,645595422	17671,45868	2,708154712	187,22%

8. táblázat: Példaadatok a fordított elvű MTD mért adataiból

Ezért jövőbeni céljaink közt szerepel, hogy korrelációt keressűnk a fordított elven elvégzett hagyományos vizsgálat és az alapvetően hagyományos módszer között, ezért ezt a módszert jelen pillanatban még fejlesztűk.

RSP mérőgerenda eredményeivel való összemérés

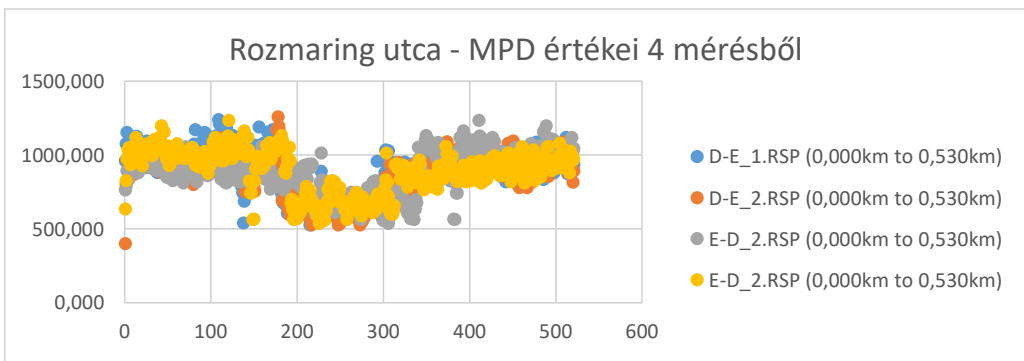
A Széchenyi István Egyetem Útépítési Laboratóriumának rendelkezésre áll egy Dynatest MK III típusú útfelület profilmérő, mely több burkolati jellemző egyidejű mérésére is alkalmas. Ezen a lehetőségen felbuzdulva, nemzetközi szakirodalmakat tanulmányozva megállapítható, hogy van összefüggés a mérőgerenda által előállított MPD (Mean Profile Depth) és a hagyományos térfogat alapú makrotextúra mélység azaz MTD (Mean Texture Depth) között. Amit szintén mi is igazoltunk méréseinkkel és összehasonlító elemzéseinkkel., Majd tovább gondolva jött az ötlet, hogy miért ne keressünk közvetlen korrelációt az MK III. mérőgerenda és az általunk használt kézi szkennerek eredményei között. Mivel több külföldi forrást is átolvastunk arra a következtetésre jutottunk, hogy nekünk is szükséges megkeresni a sajátunk tekinthető korrelációnkat, ugyanis több cikk, többféle szorzótényezőt állapított meg amellyel az MPD értékünket megszorozva megkapjuk a becsült MTD azaz ETD (Estimated Texture Depth) értékünket.



SZE LAB-ROAD mérőrendszer tervezett logója

Ehhez a mérésünkhöz egy kis forgalmú győri utcát választottunk, ahol a mérőgerenda felmérését elvégeztük majd a lokális térfogat alapú vizsgálatot, valamint kíváncsiságból, elvégeztük a digitális kézi szkenneléseinket lokálisan is.

A 3. diagramon látszik a mért szakaszon, hogy 3 kisebb szakaszra osztható a teljes útfelület, amelyből mi a középső szakaszt választottuk a lokális vizsgálataink elvégzésének helyszívéül. Először is kiértékelítettük a gerenda által szolgáltatott adatokat, amelyekből az derül ki, hogy a középső szakasz MPD értéke 670,22µm, tehát 0.6702mm. Ezt az értéket, ha megszorozzuk az általunk most már kipróbált 1,35-ös szorzóval [2] azt kapjuk, hogy 0,6702*1,35=0,9048mm (**K1**) azaz ez lesz a mi ETD azaz becsült makrotextúra mélység értékünk.



3. diagram: RSP mérőgerenda mérési eredményeit ábrázoló diagram

Vizsgálati hely	MTD	Átlag
1_1	0,9063	0,9165
1_2	0,9635	
2_1	1,2184	
2_2	1,0437	
3_2	0,8674	
4_1	0,6479	
4_2	0,7685	

9. táblázat: MTD mérések eredményei

Mivel az MPD érték csak és kizárólag statisztikai alapon értelmezhető, így lokálisan nincs is értelme összehasonlítani az egyéni mérések eredményeit, csak az átlagukat tekintjük kész mérési eredményként. Ezeket az eredményeket a 9. táblázatban tekinthetjük meg.

Ha egyszerűen fogjuk az átlag értékeket (K1, 9. tábla) és összehasonlítjuk azt kapjuk, hogy $\frac{0,9048}{0,9165} = 0,9871$ azaz kifejezett jó illeszkedés tapasztalható az eredmények tekintetében.

Miután igazoltuk mi is saját magunk számára, hogy igen van összefüggés a két módszer között, szerettünk volna kideríteni, hogy az általunk elképzelt digitális és az iparban már használt MK III. gerenda eredményei között is van-e és ha van mennyire feleltethetőek ezek meg egymásnak?

Először is a hagyományos és a kézi szkennerek eredményeit szeretnénk bemutatni, egymással párba állítva, mellyel igazolni kívánjuk, hogy az általunk felállított R2~0,80 korrelációs értékkel bíró modell valóban képes megadni az általunk feltételezett megbízhatósággal a lokális eredményeket. Ezeket ebben a táblázatban foglaltuk össze.

MTD [mm]	SCAN MTD [mm]	Egyezés [%]
0,906279	1,0176014	112,28%
0,963524	0,7917651	82,17%
1,218413	1,3599453	111,62%
1,043654	0,8375322	80,25%
0,867371	0,7163194	82,59%
0,647936	0,5833167	90,03%
0,768475	0,8151284	106,07%
SCAN Átlag:	0,8744	

10. táblázat: Összehasonlító táblázat

A 10. táblázatban látható, hogy a 0,80-as korrelációs tényezőjű egyenletet használva sikerült is a ±20%-os tartományba esniük a lokális vizsgálatoknak, amely eredményeket figyelembe véve a modellünket további kutatásra és fejlesztésre alkalmasnak ítéljük.

Viszont ennek a blokknak az alap tézise nem ez volt, hanem hogy az MK III. gerenda és a kézi szkennerek között van e kimutatható egyezés melyet az alábbi egyszerű matematikai példával úgy érezzük sikerült is kimutatnunk. $\frac{0,8744}{0,9048} = 0,9664$ ami közel azonos értéknek tekinthető.

Összességében tehát elmondható, hogy van kimutatható összefüggés az MK III. mérőgerenda és a kézi szkennerek eredményei között, méghozzá igen jó egyezési értékkel mely mérések pontosítása egyértelműen nagyobb adatbank létrehozását kívánja, ami természetesen jövőbeni célunk is.

[1] Sulinet a tudásbázis: A korrelációs együttható

[2] G. Van Zyl, G. D. Van Zyl, and A. Van Der Gryp, "Correlation between Mean Profile Depth Estimated Macro Texture Depth." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281204523>

Grafén tartalmú aszfalt módosító: a PmA technológia evolúciója

Matteo Fumagalli

Area Manager,
Iterchimica S.p.A.



Kik vagyunk?

Az Iterchimica S.p.A. egy olasz vállalat Suisióban (Bergamo), amely termékeket és innovatív technológiákat fejleszt az aszfaltburkolatokhoz, hogy javítsa azok minőségét, valamint biztosítsa a biztonságot, a tartósságot és a fenntarthatóságot. Gabriele Giannattasio alapította 1967-ben, és azóta az ágazat innovatív vállalataként tevékenykedik. Ma az Iterchimica világszerte több mint 90 országban dolgozik, számos együttműködésben olasz

és külföldi egyetemekkel. Küldetése több mint 50 éve ugyanaz maradt: a technológiai innováció és a fenntarthatóság az aszfaltburkolatokhoz használt termékek területén. A vállalat laboratóriumaiban kifejlesztett és tesztelt termékek széles választékát úgy tervezték, hogy minden műszaki beavatkozás minden igényét kielégítse, tiszteletben tartva a terület és az egyes alkalmazási területek egységességét.

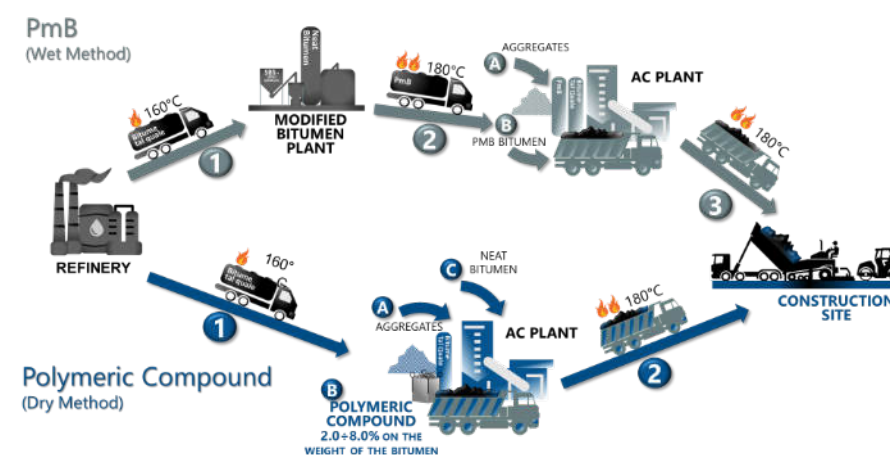


Kép 1 – Iterchimica kémiai és technológiai laboratóriumai

Gipave®: bemutatás

A finomítási folyamatot egyre inkább az olyan anyagok, mint a benzin, gázolajok, nehézelajok stb. hasznosítására irányítják, ami a bitumen és annak fizikai-mechanikai teljesítményének folyamatos kimerülését okozza. Ugyanakkor az egyre növekvő forgalom és terhelések miatt az útszakaszokat alkotó különböző anyagok teljesítményének folyamatos növelésére van szükség. Ami az aszfaltburkolatokat illeti, az elmúlt 40 évben fokozatosan kerestek megoldásokat a teljesítményük „módosítással” történő növelésére. Ebből a célból két csoportra osztva vezették be a módosítási módszereket és a módosítási tipológiákat:

- Polymer-modified Bitumen (PmB: Wet Method): bitumenes kötőanyag, amelynek reológiáját egy vagy több szerves polimerrel módosították. A teljesítményt a standard bitumenhez képest növelik, amit a fázis-inverzió biztosít, amelyet egy speciális módosító üzemben (nedves módszer) történő feldolgozással érnek el. Ezt követően a polimerrel módosított bitument aszfaltkeverékek előállításához használják;
- Polymer-modified Asphalt (PmA: Dry Method): a teljesítmény javulását az aszfaltkeverék gyártási fázisában polimer vegyület alkalmazásával érik el. Ez a szabványos bitumen használatával lehetséges, mivel a módosító polimert a gyártási ciklusban az adalékanyagok után és a bitumen előtt adagolják be, módosítva az aszfaltkeverék teljes szerkezetét.



Kép 2 – Gyártási folyamat összehasonlítás: PmB vs PmA

Az Iterchimica S.p.A. több mint 20 éves tapasztalattal rendelkezik a száraz módosítás (Dry Method) területén, amelyet számos nemzetközi projekt során szerzett. Ennek a tapasztalatnak köszönhetően sikerült megérteni és kifejleszteni egy új, grafénnel erősített polimer vegyületet: Gipave®.

A termék kifejlesztése megfelel a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének és az újrahasznosításnak.

Ezt a grafénnel erősített polimer supermodifikátort egy hatékony, fenntartható és innovatív rendszerrel állítják elő, amely az Ecopave projekt része volt. A Gipave® egy speciális típusú, válogatott újrahasznosított műanyagot és grafént tartalmaz, hogy jelentősen javítsa az aszfaltburkolatok fizikai-mechanikai tulajdonságait.



Kép 3 - Grafén (balra) és Gipave® (jobbra)

Gipave®: néhány a fő projektek közül

A Gipave®-t a fejlesztési és kutatási fázistól kezdve számos próbaszakaszon és projektben használták különböző alkalmazási területeken és rétegekben. Az első egy római (Olaszország) főút volt 2018-ban mind a kopó-, mind a kötőrétegek esetében, ahol összehasonlítottuk a PmB-vel módosított

standard keverékekkel, optimális eredményt elérve. Onnantól a főutaktól kezdve a repülőterekig és autópályákig terjedő projekteken vettünk részt. Ez rengeteg adatot és validálást biztosított számunkra a termék tulajdonságairól, megerősítve a kutatási szakaszban a laboratóriumban kapott adatokat.

List of the trial sections during the research phase						
No.	Execution date	Country	City/Province/Region	Location	Type of road	Pavement layer
1	Oct-18	Italy	Rome/Lazio	Via Ardeatina (SP3)	Arterial	Wearing course and binder layer
2	Sep-19	Italy	Milan/Lombardy	Milano - Meda (SP35)	Expressway	Wearing course binder, and base layer
3	Sep-19	Italy	Cagliari/Sardinia	Cagliari airport	Airport taxiway	Wearing course
4	Sep-19	Italy	Bergamo/Lombardy	Fabriciano Ring Rd. (SS470)	Highway	Wearing and base layer
5	Oct-19	Italy	Milan/Lombardy	Lacchiarella (SP40)	Arterial	Wearing and base layer
6	Nov-19	Italy	Rome/Lazio	Rome Fiumicino airport	Airport taxiway	Wearing and base layer
7	Nov-19	UK	Curbridge/Oxfordshire	Main Rd.	Local street	SMA Wearing course and AC binder layer
8	May-20	Italy	Laimburg/Bolzano	SP62, starting from (SP162)	Arterial	Wearing and base layer
9	Jun-20	UK	Kent/Dartford	East hill (A226)	Collector street	SMA Wearing course and binder layer
10	Jul-20	Italy	Genova/Liguria	San Giorgio Bridge (E25)	Bridge deck	SMA Wearing course and binder layer
11	Dec-20	UK	Lichfield/Staffordshire	A51 Tamworth Road,	Urban Street	SMA Wearing course and AC binder layer
12	Mar-22	UK	Oxford/Oxfordshire	Marsh lane/(B4150)	Arterial	SMA Wearing course and AC binder layer

Kép 4 – Néhány próbaszakasz és projekt Gipave® használatával

Az egyik első és legfontosabb eredmény minden bizonnyal a genovai San Giorgio híd az E25-ös autópályán. Ez az autópálya-viadukt a Polcevera patak felett ível át, és 2020. augusztus 3-án adták át. Az autópálya burkolatát Gipave® SMA kopórétéggel készítették, hogy javítsák a burkolat fizikai-mechanikai jellemzőit, növeljék az élettartamát és csökkentsék a karbantartási igényt. Ennek az innovatív technológiának az alkalmazását a tervezés szintjén alkalmazott innovatív megközelítés tette lehetővé, amely a mun-

ka ökológiai kompatibilitásának növelése mellett a burkolat tartósságát illetően is javulást ért el. A bitumenes keverékek az előminősítés és a kivitelezés utáni fázisban elvégzett vizsgálatok megerősítették a projektfázis javaslatában elvárt jobb teljesítményt. Az új Gipave® technológia lehetővé tette, hogy több mint 7,5 t/km műanyagot takarítsanak meg, amelyet egyébként hulladékegető üzemekbe küldtek volna, jelentősen csökkentve a környezeti hatást és hosszú távon garantálva a felhasználók biztonságát.



Kép 5 – Kivitelezés a San Giorgio hídon, Genova

Típus-pályaszerkezet szerinti méretezés alkalmazása kisforgalmú lakóutakra az „altalaj-faktor” figyelembevételével

Schubert István



Ügyvezető,
Andreas Kft.

Extract: *The study presents an improved simple empirical sizing method that can be used for simple and fast sizing of low-traffic municipal residential roads using special DDM falling-weight manual measurement deflection data. Alternative, mechanically based methods are still being developed all over the world. According to our studies, the transitional sizing method described here preserves the favourable experience of empirical methods, but opens the possibility to take into account the load - bearing parameters of the subsoil - earthwork. Suitable for scaling simple, low-traffic residential roads and even creating a real-time simplified plan with paperless data transfer. In addition to dynamic deflection, the measurement and knowledge of the specified dynamic load capacity also makes it possible to reuse surface granular materials together with the protection of the environment and the application of the recycling requirements without quality problems.*

Kulcsszavak: Aszfalt pályaszerkezet méretezés, szükséges aszfalt vastagság, kisbeton-elemes burkolat méretezése, SMART-DDM, Dinamikus behajlás mérés, FWD, lakóutak pályaszerkezet tervezése, valós idejű adatfeldolgozás

Önkormányzati utak jelentősége, aránya hazánkban

A közutak állami tulajdonú országos közutak és az önkormányzati tulajdonú helyi közutak. Az országos közutak hossza 32.204 km, ehhez társult 2018-ban körülbelül 1000 km kerékpárút hálózat is, mely a 355/2017. (IX.29.) kormányrendelet hatálybalépésével került a Magyar Közút kezelésébe. A helyi közutak hossza 181396 km. Az országos közúthálózat bonyolítja le az ország teljes közúti forgalmának mintegy 75%-át. Az országos közutakból 9.077 km főhálózat, melyből 2.470 km “E” út, vagyis az európai úthálózat része. A gyorsforgalmi úthálózat (autópályák, autótutak) hossza 1.586 km, autópálya csomóponti ágakkal együtt pedig 2.076 km. Az országos közutak hosszának 27%-ka településeken halad keresztül, tehát a települések

helyi forgalmának lebonyolításában is jelentős szerepet játszanak. (forrás: https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/az-allami-kozuthalozatrol/_) érvényessége 20210105)

Fenti adatokban az önkormányzati utak fontosságát jól mutatja arányuk. Az eUT 08.01.71 helyi közutak kezelés c. Tervezési útmutató [5] erre vonatkozóan részletes adatokat közöl 2007 évre, melynek aránya azóta alig változott. Belterületi utak hossza országosan összesen 55.157km, amiből lakóút (kiszolgáló út) 43.645km. A belterületeken kiépített utak hossza 37.647km és kiépítetlen 17.510km, azaz összesen 56.157km. Külterülettel és belterülettel együtt a kiépített és kiépítetlen helyi közutak hossza 164.537km (lásd 19. Tervezési Útmutató 1.1 és 1.2 tábl).

A Magyar Közút által üzemeltetett állami úthálózat 31.183km-re becsülhető a MK adatai alapján (forrás: https://www.ksh.hu/docs/hun/xtabla/jelszall/tabljsz09_02_01a.html).

Az önkormányzati utak tehát sokkal több figyelmet és törődést érdemelnének – már csak arányuk alapján is. De ha csak arra gondolunk, hogy mi is ott lakunk belterületen, akkor érthető, hogy számunkra és családunknak miért is oly fontos. Ráadásul karbantartásuk és üzemeltetésük is messze alulmarad az állami úthálózatra fordított figyelemnek és költségeknek.

1. Burkolatlan önkormányzati utak megerősítésének tervezése

A burkolt utak megerősítésére három szabványt hozunk fel példának, a meglévő és aktuális magyar, továbbá a szomszédos osztrák, illetve a német szabványt. Mindháromra jellemző a fokozatosság elve, a megerősítést a már bevált típus-pályaszerkezetekre vezetik vissza. Az osztrák és német előírás azonban már az alternatív (mechanikus) méretezés felé is nyitott és bizonyos alternatív méretezési paraméterek figyelembe vételét is lehetővé tesz. Ilyen a beviendő bitumen térfogat és bitumenkitöltöttség (saturáció) mértéke. Gond ezzel csak az, hogy a működést ugyan valóban nagyban befolyásolja a bevitt bitumen térfogata, azonban szerintünk e mellett fontos jellemző a b/t bitumen-filler arány. Azaz a habarcs merevségét önmagában a bevitt bitumentérfogat még nem biztosítja, csak akkor, ha a habarcsban lévő aránya megfelelő. A magyar előírásra jellemző, hogy a megvalósult, megépített aszfaltkeverékek jellemzően mindig magasabb filler-bitumen aránnyal épülnek meg, mint a tervezett, azaz *szerintünk* a habarcs mindig merevebb, mint a tervezett, azaz más, mint ami kellene.

A német útpályaszerkezet méretezési gyakorlata (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen RStO 12 [1] – a magyarhoz hasonlóan [3] – a típuspályaszerkezet kiválasztáson alapul, azonban az aktuális német szabályozásban megjelent új előírás (Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht RDO – Asphalt 09) jelentős forgalmi terhelés esetén, 100 millió egységtengegy felett – egy meglehetősen komplex eljárás keretében – az analitikus méretezési eljárás lehetőségét is megteremt [10] dr Tóth Csaba cikke szerint.

Az aszfaltburkolatú utak jelenleg alkalmazott méretezésénél Ausztriában [2] a szemimpirikus méretezési modellt használják, amelyek ugyan könnyen alkalmazhatók, azonban nem biztosítanak elegendő mozgásteret ahhoz, hogy a tényleges jellemzőket (forgalom, a használt aszfalt anyagtulajdonságai stb.) lehessen figyelembe venni az egyes méretezendő útszakaszokhoz. Különösen kritikusnak tekintendő azon lehetőség hiánya, hogy a nagyobb teljesítményű aszfaltok használata kihatással legyen a méretezés eredményére, ami például visszafogja az anyagok fejlesztését célzó innovációt. (Prof. Ronald Blob, Eberhardsteiner Lukas [7])

A burkolatlan utak szükséges aszfalt vastagságának meghatározásához a burkolatlan – általában zúzalékolt - felületen, vagy a megerősítéshez a meglévő burkolaton mérünk a vontatott FWD, vagy Dynatest dinamikus behajlás mérővel, meghatározva a behajlásokat a méretezendő szakaszon.

Jelen tanulmány a kiépítések és megerősítések elősegítésére készült, hogy a rendelkezésre álló alacsony források ellenére a kiépítettség jelentősen növelhető legyen. A SMART-DDM applikáció és mérőeszköz a megerősítés méretezésére, a szükséges aszfalttréteg vastagság meghatározására, valamint az utak osztályba sorolására is alkalmas, minden további feldolgozás nélkül. Az alkalmazott SP-LFWD fejlesztés alatt álló mérőeszköz kisméretű, hordozható, egyszerű, és gyors mérési eredményt szolgáltat.

Régebben ezt még a *vissza-alakulási alakváltozást mérő* Benkelman-féle behajlás-mérő műszerrel végeztük.

Látni kell, hogy a KUAB - Dynatest vontatott nagyméretű műszerek dinamikus, terhelésirányú behajlást mérnek, melyet „átszámítanak” a Benkelman-behajlásra. A két módszer modellhatása azonban eltérő. Míg a régi Benkelman-féle módszer a tengelyterhelés megszűnése utáni rugalmas vissza-alakulást határozta meg, míg a KUAB (vagy Dynatest) mérés adott magasságból leejtett súlyt alkalmaz a dinamikus behajlás mérésére. Ez ugyan megítélésünk szerint előnyös amiatt, hogy a forgalmi igénybevétel is dinamikus, de ugyanakkor a behajlási érték átszámítása a korábbi Benkelman-féle behajlásra egyáltalán nem tűnik egyszerűnek és „pontosításra” vár.

A Benkelman-féle behajlásmérés hazai alkalmazását tovább nehezíti a jövőben az, hogy a MSZ 2509-4 behajlásmérési szabvány megszüntetését kezdeményezték az MSZH honlapja szerint, azaz szabályozásának jövője egyelőre nem belátható.

A MAUT által koordinált ÚME szabályozásokban egyrészt van egy empirikus, típus-pályaszerkezetek választásán alapuló szerkezet-tervezés és pályaszerkezet méretezés [8, 9], de már megjelent a mechanikai alapú, alternatív méretezési módszer is, melynek alkalmazását készítői a nagyobb forgalmi terhelési osztályokban való alkalmazásra javasolnak – és véglegesítése még várat magára.

Ugyanakkor megjelent egy ÚME szabályozás eUT06.03.17:2017 a kisforgalmú utak mechanikai alapú méretezésére is, melynek egyes részleteit vitatunk és alkalmazása túl bonyolultnak tűnik lakóutakra. A hagyományos pályaszerkezet méretezési szakértői módszerrel, a kisforgalmú utak méretezése [4] igen egyszerű.

Megjegyezzük, hogy az új alternatív, mechanikai méretezésen alapuló megerősítési módszerek, sajnos *mellőzik az összehasonlítást a korábbi megerősítési módszerekkel*. Nyilván kétségbe taszítja a pályaszerkezet méretezését végző szakembert, ha az alternatív méretezéssel háromszor olyan vastag erősítőréteg jön ki, mint a korábbi – hagyományos, és beváltak tekintett – méretezési módszernél.

Egyértelmű volt tehát számunkra, hogy fentiek miatt a *kisforgalmú utak pályaszerkezetének* méretezésre és tervezésére – legalább átmenetileg és kiindulásképp - a már bevált módszerek közül válasszunk, ez pedig a meglévő empirikus módszer, a típuspálya szerkezetekből levezethető összefü-

gés (regressziós analízis) alkalmazását részesíti előnyben. Ezekre a pályaszerkezetekre van kellő gyakorlati tapasztalatunk (a várható élettartamra, üzemeltetésre és karbantartási igényre), azaz ezek ismertek az önkormányzati szakemberek számára is a gyakorlatban.

A 2006 évi szabályzat kiegészítésével lehetségessé vált, hogy a KUAB vagy Dynatest dinamikus ejtősúlyos berendezések méréseit is alkalmazni lehessen a pályaszerkezet méretezésére [3], úgy, hogy a dinamikus behajlás értékeket *statikus behajlásra* számítsuk át.

Az átszámítás a következő:
 $s = 1,2 \cdot d - 0,08$ (mm) ha negatív, akkor $s = 0,01$ -nek vesszük

A *kisforgalmú utakra, azok méretezésére azonban már most is más ÚME szabályozás vonatkozik*, mint általában az utakra. Az e-UT 06.03.12 [ÚT 2-1.503] Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése A1 (TF<20.000Et) és A2 osztályra (TF 20.000-30.000 Et) ad választható típus-pályaszerkezetet. Mi e mellé *javasoljuk bevezetni az A0 forgalmi terhelési osztályt*, mert igen gyakori a lakóutaknál a 10.000 Et alatti forgalom, ami sok esetben jellemzőnek vehető.

2. Behajlás-mérési módszer

Jelen tanulmány F=8.500N-os terheléssel és egy új kézi műszerrel, az általunk kifejlesztett ***dinamikus SMART-DDM*** kézi ejtősúlyos műszerrel és okostelefonos applikációval mér, a korábbi dinamikus KUAB, vagy Dynatest mérések adaptálásával és ahhoz történő kalibrálással. A javasolt a 20-25m gyakoriságú mérési pontok felvétele az adott szakaszra (utcákra) elegendő sűrűségű. A tárolt mérések száma 1-99 db lehet, ez 2,5 km utcahossz, ami az önkormányzati utakra vonatkozó igényeket várhatóan kielégíti.



Figure 37. Measuring static rebound deflection with the Benkelman beam.

1.kép Régi Benkelman-féle visszaalakulási behajlást mérő eszköz a WAASHO kísérleti útpályán

A SMART-DDM egy olyan kézi ejtősúlyos műszer, melyet települési utakon, kis mérési távolságokra (lakó-utcák-ra) tervezünk alkalmazni. A műszer fejlesztés alatt áll és a verifikációs mérések elvégzése folyik. Kitűzött cél, hogy a SMART-DDM applikáció alkalmazásával a mérés elvégzése után azonnal számítsa a szükséges erősítő aszfaltvastagságot, illetve, hogy ennek alapján az út-adatbanknak megfelelő adatokat szolgáltatson. Az adott pont újramérhető (kontrol lehetséges), vagy a TXT adatsorból a leszívás után is korrigálható, újrafeldolgozással. Erre különféle módszerek is lehetségesek, mely nem tárgya a mérési eljárásnak.

A SMART-DDM applikáció tervezett egyszerűsített méretezési eljárás alapjául az eUT06.03.13 (ÚT2-1.202) Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése ÚME 6.6 pontja szerinti típus-pályaszerkezetet választottuk (ÚME 6.3.ábra). Ez egy zúzott, vagy szemcsés alaprétegre helyezett aszfalt pályaszerkezet, melynek alaprétegre ismert E2 teherbírasi követelmény értékek kell teljesüljenek. Mivel a SMART-DDM a mérési eredményéből nem csak a dinamikus behajlást, hanem dinamikus modulust is meghatározza, ez a tervezési – méretezési módszer alkalmasnak tűnik a valós teherbírás figyelembe vételére.

3. Méretezési alapelvek, fogalmak

A méretezéshez a megerősítéshez alkalmazott alapfogalmakban jelentős módosításokat nem tervezünk, ez szükséges ahhoz, hogy az applikáció alkalmazása könnyen elfogadható legyen. Fontosnak tartjuk annak verifikációját, hogy az új, egyszerűsített módszerrel számított megerősítés a szükséges aszfaltvastagság a korábbi módszerekkel meghatározottól jelentős mértékben ne térjen el.

Az alkalmazott fogalmak jelen egyszerűsített tervezésben és méretezési eljárásban a következők:
ÁNET – napi nehézgépjármű forgalom
(esetünkben ÁNET=TF/t/1,25/365)

TF Tervezési forgalom a tervezési élettartamra összesen, nehézgépjármű Et ehhez a kisforgalmú utak pályaszerkezet méretezésből kiemeltük az A1 és A2 osztályt, mivel az eUT06.03.13 (ÚT2-1.202) statikus pályaszerkezet méretezésünk a TF<30.000Et forgalommal nem számol, csak nagyobb.

Javasoljuk ezért és alkalmazzuk is jelen tanulmányban az A0 (F100=10.000Et) kategória bevezetését.

Élettartam t=10 év a kisforgalmú lakóutakra jelenleg, melyet ma már kerülni illene. A költséghatékonyság, a forráshiány miatt ennek ellenére gyakori, hogy a megrendelő ennek alkalmazását kéri. A keverékek jellemzői és a teherbírás pontosabb behatárolása miatt lehetne az élettartam t=15 év (mint az állami úthálózatnál), de lehetne akár 20 év is. Az élettartam végét lakóutaknál tartósan megfelelő altalaj-teherbírás (pl megfelelő vízelvezetés) esetén nem a nyomvályú képződés, nem a fáradási repedések, hanem a keverék miatti kátyúsodás okozhatja. A burkolati hézag (tömörség) és kötőanyag bevitel – ÚME határokon belüli –

Kisebb teherbírásnál az alsó zúzott, vagy szemcsés alaprétegre vastagabb aszfaltréteg, illetve fordítva – vékonyabb kerülhet.

Az alternatív pályaszerkezet méretezésből átvehető (kül-földi példákhoz hasonlóan) a keverékben minimálisan alkalmazandó bitumentérfogat, bitumen típus, bitumen/filler arány stb. További előnye ennek az adaptációnak az, hogy a kisforgalmú utakra jelenleg megszabott forgalmi terhelést A0 osztállyal kiegészíti, és ezzel tovább pontosítja a méretezést.

A pályaszerkezet lehet különösen hajlékony (szemcsés alapréteg, felületi bevonat, vagy lágyaszfalt, vagy melegbitumenes aszfaltréteg < 7cm rétegvastagsággal, illetve hajlékony (melegbitumenes aszfaltrétegek > 7cm összes rétegvastagsággal) és lehet félig merev (CKt, soványbeton alapréteg és aszfalt felső rétegek) is. A kisforgalmú lakóutak kiépítésére és megerősítésére keretében a félig merev pályaszerkezetekkel jelenleg nem foglalkozunk, a jelentősen eltérő méretezési elv, a vékony aszfalt kopóréteg és a dilatációs mozgás miatti átrepedés kivédhetetlensége miatt.

előírásával a tenderben még nem kifogásolható. Ezzel az élettartam megemelhethető lenne.

Tervezési forgalom TF = 1,25·365·t·ÁNET (Et) azaz a tervezett pályaszerkezet csak a nehézgépjármű tengelyáthaladástól függ, a kisebb járművek közismerten nem befolyásolják.

Behajlás (s mm) SMART-DDM kézi LWFD műszer tervezett alkalmazásával a mért dinamikus behajlást átszámítjuk FWD (p=0,707MPa) tárcsa alatti terhelés szerinti d0 dinamikus behajlásra, majd BM statikus Benkelman-behajlásra a jelenlegi standard képlettel.

$s = 1,2 \cdot d - 0,08$ (mm) ha negatív akkor 0,01-nek vesszük

Megengedett behajlás (s_{eng}):

A TF tervezési forgalom és a pályaszerkezet típusa alapján számított, megengedett behajlás az ÚME előírásai szerint számítható, a különösen hajlékony, a hajlékony és a félig merev pályaszerkezet típusokra:
 $s_{eng} \geq BM = s = a \cdot (N)^{-1/b}$ (mm) ahol N=TF egységtengely áthaladás a tervezett élettartam alatt, valamint az a és b paraméterek sem változnak: hajlékony pályaszerkezetnél a=14,5 és b=4,55 különösen hajlékony pályaszerkezetnél pedig a=25,0 és b=4,0. **Adott behajlásra megengedhető forgalmi terhelés** a fentiek alapján: $(N) F100 = (a / s)^b (E t \text{ áthaladás})$

3.1. Felvett méretezési modell részei

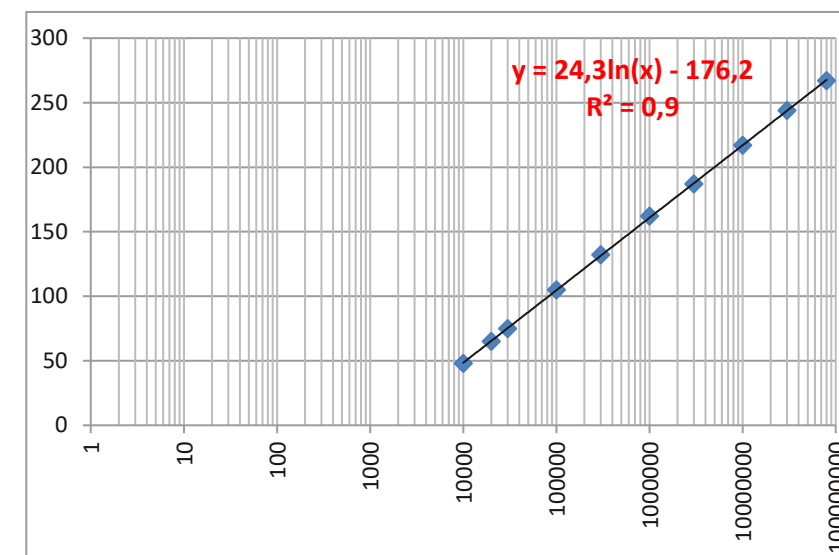
Először elvégeztük az F100-tól függő aszfaltvastagsági előírások alapján azok korrekcióját, szükséges pontosítását.

Forg terh o		A0	A1	A2	A	B	C	D	E	K
TF (F100)	0	10 000	20 000	30 000	100 000	300 000	1 millió	3 millió	10 millió	30 millió
Ha szabványos	-	-	60*	80*	100	120	150	180	220	250
H aszfalt korr	35	48	65	75	105	132	162	187	217	244
delta aszf	-	13	30	40	70	97	127	152	182	209
Ed≈E2 stat300	30,0	33,6	39,1	42,8	55,7	70,9	92,4	117,6	153,3	195,1
s eng mm	2,15	1,92	1,64	1,50	1,15	0,91	0,70	0,55	0,42	0,33
d0' din mm	1,86	1,66	1,44	1,32	1,03	0,82	0,65	0,52	0,42	0,34
H aszfalt mm	-	48	65	75	105	132	162	187	217	244
delta stat behajlás		-0,23	-0,51	-0,65	-1,00	-1,24	-1,45	-1,60	-1,73	-1,82
delta aszfalt mm	-	13	30	40	70	97	127	152	182	209
E0 KUAB	79	88	102	111	142	178	226	280	351	428
delta E0	-	9	23	32	63	99	147	201	272	350

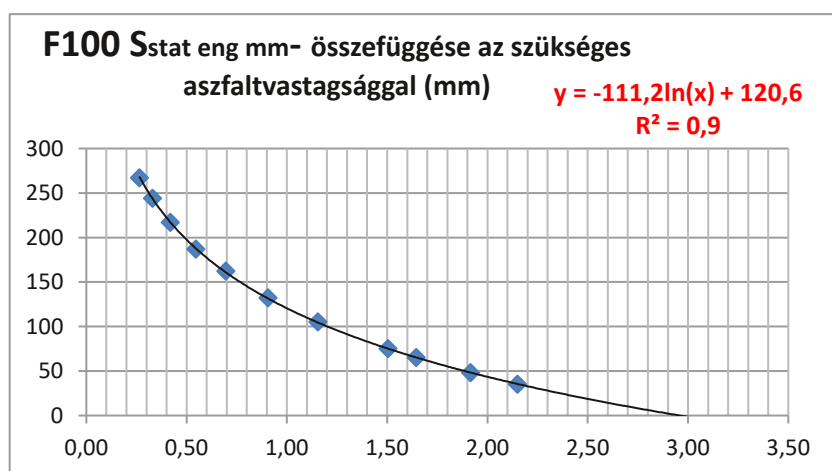
1.táblázat F100 forgalom-függő aszfaltvastagsági előírások pontosítása *kisforgalmú utak méretezése c. műszaki előírás szerint

A táblázat értékeit szakértői becsléssel ugyanis pontosítani kellett. Az eredeti értékek ugyan mm-ben voltak megadva, de mind cm-re kerekítve. Jelenlegi számításainkhoz, a regressziós analízishez azonban ennél sokkal pontosabb értékek és összefüggés kellett. Másrészt az alkalmazás célja a kisforgalmú lakóutakra történő kiterjesztés volt, ami miatt a eUT06.03.13 (ÚT2-1.202) statikus pályaszerkezet méretezésünk a TF<30.000Et forgalom alatti táblázatát ki bővítettük. Ehhez természetesen figyelembe vettük a e-UT 06.03.12 [ÚT 2-1.503] Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése ÚME egyes típus megadott rétegvastagságait és forgalmi megkötezeit is.

Az 1.sz táblázatban megadtuk továbbá az Ed dinamikus modulust (MSZ 15846) és a statikus tárcsás E2 (MSZ 2509-3) értékét is. A 2. sz árn látható a pontosított aszfalt vastagság – TF összefüggés melyet a továbbiakban a SMART-DDM műszer applikáció a méretezésében az A0 – B terhelési osztályokban alkalmaz. E feletti forgalmi terhelés esetén már a nagyobb méretű KUAB vagy Dynatest alkalmazását ajánljuk a kellő pontosság elérésére.



2. ábra Alkalmazott F100 nehézgépjármű forgalom és aszfalt vastagság összefüggése



3.ábra A megengedett behajlás Seng (mm) és aszfalt szükséges vastagságának feltárt összefüggése

4. Méretezés bemutatása

4.1. Tervezési élettartam és az élettartamra tervezett nehézgépjármű forgalom

Az ÁNET alapján, vagy az út TF (Et) forgalmi besorolása alapján választjuk meg. Számítható a „t” tervezési élettartam és az ÁNET, vagy közvetlenül felvehető a TF=F100 besorolás szerint.

Az ÁNET számítását az eUT06.03.13 is (4.2.3pont), és a kisforgalmú utak pályaszerkezet méretezése is tartalmazza – kis eltéréssel. Lényege ÁNET=TF/t/1,25/365 azaz az egy napra eső nehézgépjármű forgalom tengelyáthaladási száma átlagosan.

Például A0=10.000Et esetében ez ÁNET=10.000/10/1,25/365=2,19 tengelyáthaladást jelent. A kukásautó hetente egyszer jár általában, ami 2/7=0,28 az ÁNET-ben, azaz a többi költözésekre, építkezésre, egyéb nehézforgalomra számítva tartjuk fenn. Ennél kisebb forgalmat nem ajánlott (de elvileg lehet) alkalmazni.

4.2. Szükséges aszfaltvastagság és megengedett behajlási érték meghatározása

A szükséges aszfalt vastagságot az 1.táblázat és a 2.sz ábra alapján állapítjuk meg:

Megengedett behajlás (Seng) meghatározása, az adott forgalom mellett a 3.ábra szerint történik.

Példa: Ha TF=100.000 Et áthaladás a tervezett élettartam alatt, akkor a
h aszfalt szükséges = 104,6mm
és $s_{eng} = 14,5 / (\text{HÁTVÁNY}(100.000; 1/4,55)) = 1,15\text{mm}$ lesz.

Mértékadó behajlás meghatározása

A mértékadó behajlást a SMART-DDM mérésekből (KUAB, Dynatest műszerrel megfelelő eljárással összemérve) határozzuk meg a dinamikus SMART-DDM behajlást, az

$S_{\text{átl}}$ dinamikus DDM behajlások ÁTLAGÁT

dinamikus DDM behajlások s(s) SZÓRÁSÁT ebből az

C_{KUAB} összemérési korrekcióval szorozva számítjuk a

KUAB-szerinti d_0 dinamikus behajlást, majd számítjuk a műszaki előírás szerinti

$d_{0\text{átl}}$ ÁTLAGOT

s(d_0) SZÓRÁST

Ez után elvégezzük az átszámítást a statikus behajlásra:

$s = 1,2 \cdot d - 0,08$ (mm) ha negatív lenne akkor 0,01-nek vesszük

és végül számítjuk a **mértékadó behajlást**:

$S_{\text{mértékadó}} = S_{\text{átl}} + 1,4 \cdot s(s)$ felvett valószínűségi változó $u=1,4$

(Az eUT09.02.34 ÚT2-2.122 ÜME 4.3.pontja alapján 10mérés esetén ajánlott $p=90\%$ valószínűség mellett az 1,4-et lehet alkalmazni, ezt választottuk. Ez Student eloszlás $\alpha=0,2$ kétoldalas és $v=9$ szabadságfok mellett ehhez közel álló, értéke ekkor 1,383)

Példa: $S_{\text{mértékadó}} = 1,17 + 1,4 \cdot 0,42 = 1,765$ mm

Mértékadó értékeket valamennyi fenti paraméterre számítottunk, azzal hogy az alakváltozásnál növeljük, az E_d , E_2 és E_0 értékeknél csökkentük az átlagot a szórás*valószínűségi szorzó értékével.

Esetünkben tehát a dinamikus behajlásmérés egy kalibrált SMART-DDM kézi ejtő súlyos mérőeszközzel történik és egy ponton három ejtésből (4-5-6. ejtés) képezzük egy s_1 átlagot. Emiatt a mérés megbízhatósága, szórása kedvezőbb, mint az egy ejtéses KUAB, vagy Dynatest mérés. A KUAB dinamikus behajlása és a SMART-DDM által mért dinamikus behajlást a KUAB-Dynatest összeméréseknél megszokott módon lehet és kell kontrollálni. Ekkor kell meghatározni a C_{KUAB} összemérési korrekciót.

Mivel a SMART-DDM kézi ejtő súlyos műszer tárcsa alatti terhelése 0,35MPa (tervezett továbbfejlesztésben min 0,4MPa) ezért azt át kell számítsuk a KUAB 0,708 MPa tárcsa alatti terhelésére – megfelelő tanulmányok alapján – ami a következő:

$d_0 = k \cdot s_1 \cdot C_{KUAB}$ (mm), ahol „k” korrekciós elméleti tényező, s_1 a SMART-DDM műszerrel mért 4-5-6 ejtés átlaga mm-ben, C_{KUAB} az összemérések korrekciós együtthatója

A d_0 értékét ez után még korrigálni kell az ÜME-ban előírt hőmérsékleti, terhelési és évszaki szorzókkal: $d_0' = d_0 \cdot CT \cdot CF \cdot C_\epsilon$

Korrekciók a d_0 dinamikus KUAB behajlás értékére

11cm aszfaltvastagság felett $CT = 1,3 - 0,015 \cdot T$ (°C), azaz esetünkben $CT = 1,0$

CF erő 50kN KUAB egységes terhelés átszámítására, esetünkben $= 1,0$

Cé évszaki szorzó, talajtípustól függő eUT06.03.13. ÜME 7.1 táblázata szerint jellemzően 1,0-1,1 között. Statikus mérésre van megadva, azaz nem dinamikus mérésre, ezért azt 1,0-nek vesszük fel. Fentiek alapján *kisforgalmú lakóutaknál* $d_0' = d_0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$ általában.

A jelenlegi magyar empirikus méretezésben a típuspályaszerkezetről az altalaj tényleges paramétereinek figyelembe vétele nem lehetséges, az arra vonatkozó konkrét előírást teljesíteni kell. Ez azonban egyrészt sok hiba forrása lehet, másrészt a „biztonságosabb” réteg-vastagításra hajlamosít, azaz nem tudható pontosan szükséges aszfalt rétegvastagság. Véleményünk szerint nagyon hiányzik a típuspályaszerkezetek méretezésében a teherbírás megismerésén alapuló, avagy felületi modulus miatti korrekció, mely az aszfaltvastagságot pro- és kontra is befolyásolhatja, adott forgalmi terhelés mellett.

Meglévő felület-teherbírás figyelembevétele, az új altalaj-faktor bevezetésével

Az általunk kidolgozott egyszerűsített megerősítés számításához szükségünk van egy új faktor bevezetésére, melyet **SBBF** altalaj-faktornak (SubBase-factor) neveztünk el. Tudjuk, hogy a tervezett forgalom alapján mi lenne a

szükséges teherbírás (teljes élettartam alatt), de nem mindegy hogy az valójában mire fektetjük az erősítő aszfalt réteget. Ezt valahogyan jellemezni kell, hogy növelő - csökkentő hatását figyelembe vegyük. A meglévő, megerősítendő felületet (pl lakóút esetén) vékony aszfalt, lágyaszfalt, vagy emulziós felületi bevonat borítja. Ennek jellemzőit a következő módon vehetjük figyelembe.

A SMART-DDM mérésből az $E_d \approx E_2$ dinamikus modulus és s_1 behajlási érték ismert. Attól függően, hogy a teherbírás E_d értéke milyen eltérést mutat, tudunk egy faktort képezni:

$$SBBF = 0,62 \cdot s_{1aa} + 1,14 \quad (4.ábra)$$

ahol az s_{1aa} a SMART-DDM-mel mért E_d dinamikus modulushoz tartozó behajlás értékek átlaga az adott tervezési – méretezési szakaszon. Az SBBF tulajdonképpen egy alapréteg- illetve talajjellemző. Mivel az SMART-DDM eleve méri az E_d dinamikus modulust, és az ehhez tartozó s_1 alakváltozást, ezért figyelembe vétele egyszerű. A Poisson-tényezőt a földmű közelsége miatt szemcsés anyag esetén 0,30-ra kell választani, mert az altalaj a jellemző réteg a mérés alatt, nem a leendő aszfalt. A valószínűségi tényező nem számít az arányba, mivel az azonos, ezért nem kell figyelembe venni sem az arány számításánál sem.

A teherbírasi talajjellemzőket tehát a SMART-DDM műszer adja meg, nem kell külön mérést alkalmazni. Ez után a d_0' értékekből meghatározott statikus smértékadó mm értéket szorozzuk a SBBF factorral és az így kapott SSBBF virtuális süllyedésből visszaszámítjuk az erre jellemző N tengelyáthaladást, azzal, hogy itt már az „a” és „b” értékekre a különösen hajlékony pályaszerkezetekre vonatkozó paramétert választjuk meg ($a=15$, $b=4$). Ez a korrekcióhoz kell, ami a tényleges E_d teherbírásról függ.

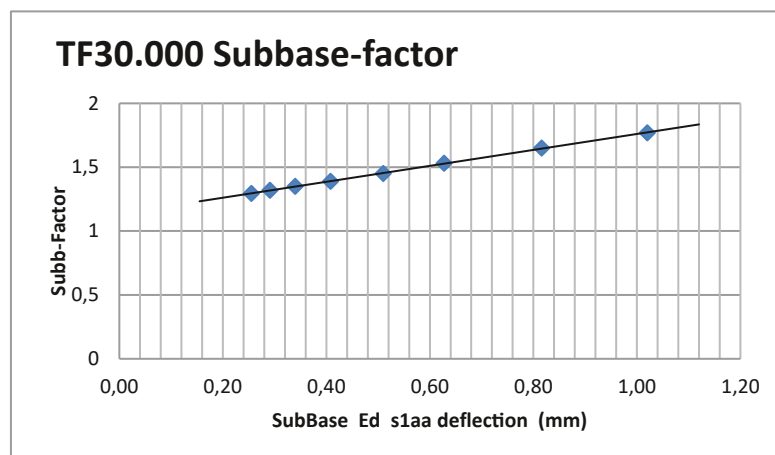
$$(NSBBF) F100 = (a / SSBBF)^b \quad \text{Et áthaladás}$$

Az ehhez a forgalomhoz tartozó (levonható) aszfalt vastagságra a 2 ábra szerinti képletet alkalmazzuk:

$$HaLEV = 24,4 \ln(NSBBF) - 176,2 \text{ (mm)}$$

Végül a tényleges felület teherbírását is figyelembe vevő megerősítő, vagy építendő aszfaltvastagság értéket a kettő különbözete adja:

$$Haszükséges = Ha_{\text{számított}} - HaLEV$$



4.ábra SBBF-faktor értékének meghatározása adott altalajra TF=30ezer ET tervezési forgalomra

Szükséges aszfaltréteg vastagság számítása

Példa burkolatlan zúzalékolt út kiépítésére: TF=100.000Et (TF=A). Seng=1,15mm és Ha szükséges=104,63mm. A típus-pályaszerkezet feltételezte azt, hogy alatta a 20cm szemcsés alapréteg teherbírása E2=95MPa. A SMART-DDM szerint az Edá=117,3 MPa és a behajlások átlaga s1aa=0,388mm. Az altalajra jellemző SBBF= 0,39 · 0,62 + 1,14 = 1,3787

A mérési eredményekből adódott Smértékadó behajlást szorozzuk a SBBF faktorról (pl 2,94*1,38=4,06 (mm) és meghatározzuk az ehhez tartozó NSBBF (F100) forgalmat, de a különösen hajlékony pályaszerkezet paramétereivel, így az F100=1.443Et, melyből a levonható aszfaltvastagság

$V_{aLE} = 24,4 \cdot \ln(F100) - 176,2 = 1,23\text{mm}$ -nek adódik csak. A megerősítés Ha=104,63-1,23=103,4mm azaz kerekítve 110mm azaz **11cm**.

Példa burkolt út megerősítése, aszfaltozására. Vékony melegaszfalt meglévő burkolat, TF=300.000Et (B), t=15 év,

ÁNET=43,84Et/nap, seng=0,91mm, smértékadó=1,24mm (1,40 valószínűségi változóval).

SBBF=1,2651; Haszükséges=131,4mm (95MPa szemcsés alapréteg esetén). Típus pályaszerkezet aszfaltvastagsága 120mm és az abban előírt E2 tükör eltakarás előtt 65MPa kellene legyen. A SMART-DDM mérés szerint az Edá=200,8 MPa és a behajlások átlaga s1aa=0,206mm.

Az altalajra jellemző SBBF= 0,206 · 0,62 + 1,14 = 1,2651

A mérési eredményekből adódott Smértékadó behajlást szorozzuk a SBBF faktorról 1,24*1,2651=1,57 (mm). Meghatározzuk az ehhez tartozó NSBBF (F100) forgalmat, de a különösen hajlékony pályaszerkezet paramétereivel, melyből a levonható aszfaltvastagság

$V_{aLE} = 24,4 \cdot \ln(64.263) - 176,2 = 93,8\text{mm}$ -nek adódik.

Megerősítés: Ha= Haszükséges - $V_{aLE} = 131,5 - 93,8 = 37,7\text{mm}$ azaz kerekítve **4cm aszfalt kell**.

4.3. Teherbírési osztályzat számítása lakó-utakra

Az e-UT 09.02.34 szerint a teherbírési osztályzat a számítható a mért és ismert Smértékadó behajlás, valamint az TF (F100)-tól függő Seng megengedett behajlás alapján számított *hátralévő élettartam alapján*. A települési út adatbankhoz a szükséges aszfaltvastagságon túl ezzel további fontos adat lenne nyerhető. A szükséges aszfaltozások mennyiségének ismeretében a tenderkiírások mennyiségi paramétere meghatározhatók és ütemezhetők a pénzügyi keretek ismeretében.

Gond az, hogy az ÚME csak az állami úthálózatra gondol, amikor a teherbírési osztályzatot meghatározza és besorolást ad a beavatkozás sürgősségére. Ezzel ugyanis olyan fenntartási kötelezettséget támaszt, ami a lakóutaknál nem reális, mert a megengedett behajlások hatása, összefüggése a leromlási jellemzőkkel lassabb hiba-kialakulást valószínűsít. A 2. táblázatban bemutatjuk javaslatunkat. A teherbírési osztályzat meghatározását egy példán mutatjuk be.

hátralévő élettartam lakóutakra (t=10 év) <i>javaslat</i>	hátralévő élettartam gyűjtő és belterületi főutakra (t=15 év)	Teherbírési osztályzat
≥10 év	≥15 év	1
7,8-9,9 év	10-14,9 év	2
3,2-7,7 év	5-9,9 év	3
1-3,1 év	1-4,9 év	4
1 év alatt	1 év alatt	5

2. táblázat „SZTO” teherbírési osztályzat javasolt besorolása lakóutakra

Önkormányzati utaknál a fenti besorolást először 5 évvel az építés után célszerű elvégezni legkorábban, ami miatt a számítás a következő egyszerűsítésekkel végezhető el.

Lefutott forgalom nagysága FLE=1,25·365·ÁNET·(Tmérés-Tépítés) = F(100)/(t/5) ahol t= tervezett élettartam 10 vagy 15 év. Mivel Tmérés-Tépítés max 5 év lehet az szabályozás szerint, 5 évnek vesszük az ellenőrző mérés gyakoriságát. Ha t=10 év akkor FLE=F(100)/2, ha t=15 év akkor FLE=F(100)/3.

F100= (a/BM)^b ahol a és b a pályaszerkezet típustól függő, esetünkben a hajlékony pályaszerkezetnél (>7cm aszfaltvastagságnál, szemcsés alappal) a=14,5 és b=4,55 Mivel ezt a pályaszerkezet méretezése során is számítjuk, ezért itt csak meg kell ismételni. Ha a tervezés A0-A1-A2-BA-BF terhelési osztály alapján történt akkor F100 adott, a következők szerint A0=10.000; A1=20.000; A2=30.000; BA=100.000; BF=300.0000 (Et). Ha az ÁNET (Et/nap) adott, akkor az F100=t*1,25*365*ÁNET

Fhátra hátralévő forgalom nagysága Fhátra = 1,015 · (a/BM)^b ahol smértékadó=BM=1,241 és a=14,5, b=4,55 így Fhátra=73.054Et, ebből FLE= F100-Fhátra= 300.000-73.054= 226.945Et

thátra hátralévő élettartam nagysága =Fhátra*t/TF=73.054*15/300.000=3,65 év ha t=15év. *Ennek alapján történik a teherbírési osztályba sorolás állami közutakra a 2. táblázat szerint 4-es, javaslatunk szerint önkormányzati utak esetében 3-as osztályzat adódik.*

SZTO Teherbírési osztályzat a kapott hátralévő élettartam alapján 1-2-3-4-5 osztály, a fenti 2.sz táblázat alapján. A 10 évre tervezett burkolat SZTO teherbírési osztályzatát NEM ismeri a műszaki szabályozás, csak a 15 évre tervezett állami úthálózatra ad útmutatást. Ezért a táblázatban szerepeltetjük azt a javaslatunkat, mely alapján a 10 éves tervezett élettartamra is megállapítható a releváns teherbírési osztályzat (az arányok betartása mellett).

Konklúzió

A javasolt megoldás főleg a burkolatlan utak aszfaltozására alkalmas, de a kisforgalmú lakóutak megerősítésére is alkalmazható módszer, marás után mérve, vagy lágyaszfaltos felületeknél. A tesztek azt mutatják, hogy ezeknél a tervezési feladatoknál a mérés jól alkalmazható. gyors, és az egyszerűsített terv is elegendő a tenderhez és a kivitelezéshez.

Megfontolandó, hogy a szabályozásokban ilyen javaslat helyet kapjon, továbbá átgondolandó feladat lehet az is, hogy a lakóutakra a hátralévő élettartam azonos súllyal szerepeljen-e az SZTO megítélésében, mint a jóval nagyobb forgalmú és kockázati tényezőben súlyosabb állami úthálózaton. Logikus lenne ennek mélyebb vizsgálata, alapos elemzése a jövőben.

A DDM mérésből nyert erősítő aszfaltréteg vastagság adatokkal és az osztályba sorolással a települési út-adat-

bank feltölthető és karbantartható, mely a fenntartás ütemezését is megszabja. A szükséges aszfaltvastagság, a szakasz hossz és osztályba sorolás alapján az éves megerősítés költsége meghatározható, ütemezhető. Ehhez hozzáadódik a tervezett ütem szerint a burkolatlan utak burkolása aszfalttal, vagy kisbeton-elemes burkolattal. Mint az látható a fentiekből a tervezett SMART-DDM mérés a szükséges összes adatot biztosítja, mely az Andreas Kft-nél (mint egyedüli hasznosítási jogosultnál) megrendelhető.

A települési fenntartó szervezetekben az így kialakított települési utak adatbank hasznos lehet az éves felújítások ütemezésére, források esetén a költségek gyors becslésére és jóváhagyásra.

5. Összefoglalás

Alternatív pályaszerkezet méretezést kidolgozóik a nagyobb forgalmi terhelésre javasolják alkalmazni. Ennek oka, hogy az alsó aszfalt szálban ébredő fajlagos alakváltozást feszültségszámítással indokolt megengedett alakváltozást limitálja. Ha az nem megfelelő, akkor vastagítani kell az aszfaltréteget. Fel kell hívjuk a figyelmet arra, hogy az eljárásban (végre) a bitumen-térfogot is limitált érték lett, amit időszerűnek és fontosnak tartunk. Ugyanakkor a bitumen/filler térfogataránya sehol sem szabályozott még, ami a habarcsmerevséget a fenti törekvések ellenére még befolyásolhatja.

Ezeket a kisforgalmú lakóutaknál is lehet és célszerű alkalmazni, törekedve arra, hogy minden feltétel adva legyen a minél hosszabb élettartamhoz. Igen, ennek első és elengedhetetlen feltétele a megfelelő mennyiségben és minőségben bevitt bitumen térfogat. A lágyabb bitumenek

alkalmazása is megengedett, mert a lakóutakon a nyomvályú-képződés veszélye nem áll fenn.

A bemutatott továbbfejlesztett empirikus módszer egy új, DDM típusú kézi dinamikus behajlás mérővel alkalmazható kis forgalmú települési lakóutakra és nem szükséges hozzá KUAB, vagy Dynatest vontatott, nagy mérőeszköz. Az okostelefonos applikációval mérő egyszerű és gyors mérési módszer alkalmazását elsősorban a kisforgalmú lakóutakra ajánljuk.

A méretezési módszer egyszerű, gyors és alkalmas a szükséges aszfalt vastagság meghatározására, melyből akár a kivitelezés, akár az önkormányzati út adatbank létrehozható. A beruházásokat nagyban segíti, ha az adatbankból kinyerhetők azok az adatok, melyek alapján a kivitelezésre vonatkozó paraméterek meghatározhatók, pályáztathatók.

Szakirodalom

- [1] RStO 12 "Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen"
- [2] FSV 2016a. RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.
- [3] e-UT 06.03.13 (ÚT2-1.202) Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése. Útügyi Műszaki Előírás
- [4] e-UT 06.03.12 [ÚT 2-1.503] Kisforgalmú utak pályaszerkezetének méretezése. Útügyi Műszaki Előírás
- [5] e-UT 08.01.71:2009 [TU-19] Helyi közutak kezelése. Tervezési Útmutató.
- [6] AASHO Road Test.Report 7. Summary Report. Highway Research Board 61G Academy of Sciences – National Research Council. Wasington, D.C. 1962
- [7] Prof. Ronald Blob, Eberhardsteiner Lukas: A teljesítménykövetelmények figyelembevétele aszfaltburkolatú utak számításán alapuló méretezésénél. Útügyi Lapok 5.évf. 1. szám (2017) ISSN: 2416-2175
- [8] Primusz P.: Hazai útpályaszerkezetek méretezése és a méretezési rendszerek fejlődése napjainkig. 2020. BME <https://docplayer.hu/112342677-A-hazai-utpalyaszerkezetek-meretezese-es-a-meretezesi-rendszerek-fejlolese-napiainkig.html>
- [9] Karolinyi M.: Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek megerősítésének méretezése – összefoglaló ismertető- Útügyi Lapok 12. 2019.
- [10] Dr Tóth Csaba: Az analitikus német útpályaszerkezet méretezési eljárás ismertetése. Útügyi Lapok 4.évf. 8. szám (2016) ISSN: 2064-0919
- [11] Primusz P.: Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti feltárhálózaton. PhD értekezés. Sopron 2012.
- [12] Markó G. – Primusz P. – Péterfalvi J.: Benkelman-tartó továbbfejlesztése a behajlási teknő automatizált rögzítéséhez. 2012.nov.14. Témavezető Dr habil. Péterfalvi József PhD egy.doc.
- [13] Markó G., Primusz P., Péterfalvi J.: Erdészet i utak teherbírásának mérése a tovább-fejlesztett kézi behajlásmérővel. Erdészet tudományi Közlemények, 2. évf. 1. szám (2012) p.:107–121.
- [14] Primusz P–Tóth Cs: A behajlási teknő geometriája. Közlekedésépítési szemle, 2009/ 12 (59) p.:18–24,28.
- [15] Kosztka M., Markó G., Péterfalvi J., Primusz P., Tóth Cs.: Erdészet i utak teherbírásának mérése. Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXI I. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. 2008. január 22., Gödöllő, 2008. 32/ 3. p.:75–79.
- [16] Dr Boromisza, Dr.hab. Gáspár L. Károly R.: Útpályaszerkezetek teherbírása hazai és külföldi eredmények és problémák. Közúti és Mélyépítéstudományi Szemle. 2008/6. p.1-8
- [17] Tóth Csaba: A teherbíró-képesség meghatározásának ellentmondásai és lehetőségei. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2007/ 8 (57) p.:13–20.
- [18] Dr Boromisza: Kisforgalmú utak pályaszerkezetei méretezési szempontokból. Közúti és Mélyépítéstudományi Szemle 2002/7 p.:319-320
- [19] Dr Boromisza: Az új hazai útpályaszerkezet méretezési előírások. Közúti és Mélyépítéstudományi szemle 2000/1. p28-31
- [20] Dr Boromisza: Útpályaszerkezetek dinamikai teherbírásmérésének bevezetése Közúti Közlekedési és Mélyépítéstudományi Szemle 1993/9 p1327-337
- [21] Dr Nemesdy E.: Az új magyar típus-pályaszerkezetek mechanikai méretezésének háttere. Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle XLII. évf. 1992/8.
- [22] Dr Nemesdy E.: Útpályaerősítés méretezése mechanikai alapon, behajlásméréssel. Mélyépítéstudományi Szemle 1986/10.
- [23] Dr Boromisza - A.Dahbi: Ajtó súlyos berendezés az aszfaltanyagok dinamikus modulusainak laboratóriumi vizsgálatára Mélyépítéstudományi Szemle 1980/12 p:547-555
- [24] Dr Boromisza Aszfaltburkolatú utak teherbírásának vizsgálata behajlásméréssel. Mélyépítéstudományi Szemle 1979/3. p(4)
- [25] Dr Nemesdy E.: A hazai útpálya szerkezetek méretezési diagramok eredete és az AASHO útkísérletek. Közlekedéstudományi Szemle. XXIII. 1973/2.
- [26] Dr Boromisza T – Dr Gáspár L : A hazai útpálya szerkezetek méretezési diagramok eredete és az AASHO útkísérletek. Közlekedéstudományi Szemle. XXIII. 1973/2. Die neue ungarische Norm über die Prüfung der Kontruktionsschichten im Strassenbau Die Strasse 1962/I.
- [27] Dr Boromisza T – Dr Gáspár L: Útpályaszerkezetek teherbíró képességének szabványosítása Közlekedéstudományi szemle 1961 XII p8 p(8)
- [28] Dr Boromisza: Útburkolatok behajlása Mélyépítéstudományi.Szemle. 1959/X. p3
- [29] Dr Boromisza: A WAASHO kísérleti útpályák. Mélyépítéstudományi.Szemle. 1957/XII. p5
- [30] Dr Gáspár L.- Dr Boromisza T.: Billenő karos mérőeszköz az útburkolatok teherbíróképességének meghatározására. Közlekedés Építő. 1956/VI. p6.
- [31] Subert I.: Pályaszerkezet méretezés az altalaj-faktor figyelembevételével / Pavement Structure Sizing Taking into Account Subbase-factor. Y2100028 SZTNH 2021

Tisztelt Cégvezető Kollégák, HAPA tagok, Fiatal Mérnökök!

Tizennyolcadik alkalommal invitáljuk, pályakezdő kollégáinkat a HAPA

Fiatal Mérnökök Fórumára

2025 november 18.-án kedden,
immár hagyományosan a Holiday Inn Hotelba

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

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

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

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

Egyúttal szeretném felhívni a figyelmet a XXVI.HAPA Konferenciára, melyet szintén a szokásos helyszínén a siófoki Azúr Hotelben tervezünk megtartani, 2026 február 17-18.-án.

Kérem, jegyezzék elő a dátumot!

A fő témákat hamarosan közzé tesszük, hogy az előadók készülni tudjanak.

Üdvözlettel

Veress Tibor

igazgató

Magyar Aszfaltipari Egyesülés



Az aszfaltkeverék mechanikai tulajdonságainak magyarázata a részecskék, molekulák viselkedése alapján

Zsichla László



Ügyvezető
Rodcont Kft

1. Bevezetés

A mérnöki gyakorlatban alkalmazott mechanikai modellek - amelyek segítségével számítjuk a vizsgált testben keletkező feszültségeket és megnyúlásokat - nem veszik figyelembe a testet alkotó elemi részecskék, molekulák adott vizsgálat hőmérsékleten kialakuló impulzusát. A modellek csak a hőmérsékletváltozás következtében előálló alakváltozásokkal számolnak.

A szilárd test az alkalmazott mechanikai modellek szerint külső terhelés nélkül:

- a testet jellemző pontok nyugalomban vannak,
- a belső energia nem értelmezhető, ill. nulla.

A szilárd test valós viselkedése, ha nincs külső terhelés:

- a testet jellemző elemi részecskék dinamikus egyensúlyban vannak,
- a belső energia nagyon jelentős mértékű.

A mechanika modell a testet merev testként kezeli, aminek szükségszerű következménye, hogy a nyugalomban lévő test minden pontjában csak potenciális energia fordulhat elő, a mechanikai energia csak potenciális energiából áll, nincs kinetikus energia.

A modell szerint állandó hőmérsékleten a test bármely pontjában a potenciális energia csak akkor változik meg, ha a testet külső terhelésnek tesszük ki, vagyis külső impulzusváltozás éri.

Ez azonban túlzó egyszerűsítés, hiszen a testet alkotó elemi részecskék és az elemi részecskékből felépülő molekulák me-

chanikai energiája kinetikus és potenciális energiából áll, ahol konzervatív erőterben a mechanikai energia állandó, amely energia külső terheléstől függetlenül jelentős, sőt általában nagyságrendekkel nagyobb a testet ért külső terhelésből keletkező energiánál.

A tanulmányban avval foglalkozom, hogy a testet jellemző molekulák kinetikus energiájának milyen hatása van a komplex modulusra, törőszilárdságra és a disszipatív energiára.

2. A test – aszfaltkeverék - jellemzése egy átlagos viselkedésű molekulamoddellel

A testet alkotó molekulák a testre ható külső terhelés nélkül is mozognak. A molekulák kinetikus energiája egy adott T hőmérsékleten a Boltzmann-féle (Boltzmann, 1877) eloszlást követik.

T hőmérsékleten a testet, jelen esetben aszfaltkeveréket „ k_f ” darab átlagos tömegű molekula „ O ” tömegközéppontja által leírt átlagos pályájával jellemezem, ahol minden molekula tömegközéppontja egy saját l_j pont körül (X, Y, Z) irányokban egyenlő valószínűséggel „ A ” amplitúdóval és „ ω ” frekvenciával rezeg. Az átlagos tömegű molekula kinetikus energiája a Boltzmann-féle eloszlást követi.

A továbbiakban kizárólag a Boltzmann-féle eloszlás átlagához tartozó kinetikus energiájú molekulával foglalkozom.

Az 1. ábra szerint a fekete színnel határolt „ n ” darabból és eltérő m_i ponttömeggel rendelkező rendszer tömegközéppontja úgy mozog, mint a tömegközéppontban elhelyezett m tömegű pont (Török, et al., 2014).

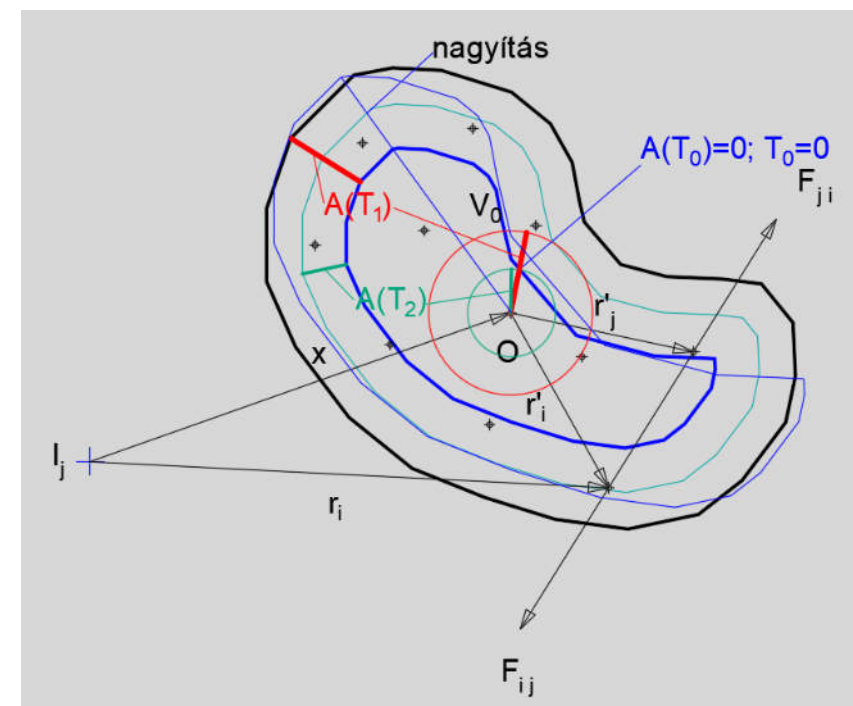
$$m = \sum_{i=1}^n m_i \quad (2.1)$$

A tömegközéppont-tétel alapján bármilyen méretű merev test mozgása jellemezhető „ O ” tömegközéppontjának mozgásával, ahol a test tömegét a tömegközéppontba „sűrítjük”.

Ez a modell kimondatlanul is azt feltételezi, hogy az „ O ” pontban egy m tömegű „fekete lyuk” van, aminek már nincs térfogata, csak tömege.

$$x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i r_i \quad (2.2)$$

- x - tömegközéppont helyvektora
- r_i - i . tömegpont helyvektora
- m_i - i . tömegpont tömege (kg)



1. ábra: A molekula mozgása által leírt pályák eltérő hőmérsékleten.

Az 1. ábrán az i . tömegpontból a j . tömegpontra ható erőt az F_{ji} vektor jelöli.

A molekulák az abszolút nulla foktól eltérő hőmérsékleten nem tekinthetők merev testnek, mert a molekulát alkotó atomok is rezegnek, van kinetikus és potenciális energiájuk.

Az 1. ábra l_j pontjához viszonyítva tömegpontrendszer E_{kin} kinetikus energiája (2.3) egyenlő a tömegközéppont kinetikus energiájának és a tömegpontok tömegközépponthez viszonyított kinetikus energiáinak összegével, amely nem más, mint a belső kinetikus energia.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \sum_{i=1}^n m_i \dot{r}_i'^2 = E_{TR} + E_b \quad (2.3)$$

E_{TR} - transzlációs kinetikus energia (J), (szilárd anyagnál rezgés)
 E_b - belső energia (J), (mindig rezgés)
 $\dot{x}; \dot{r}_i'$ - sebességvektorok (m/s)

A transzláció - eltolás - az euklideszi geometriában olyan transzformáció, amely a test minden pontját azonos irányban mozgatja el. A transzláció csak gázok esetén értelmezhető, szilárd anyagoknál ez a mozgás a rezgés, ahol T hőmérsékleten az $\dot{x}$ sebességvektor skaláris értéke a rezgés amplitúdójának és frekvenciájának szorzata.

Egy valós, nem merev testként értelmezett molekula (2.4) összes belső energiája, energiaállapota E_b felírható a molekula összes elektronjának $E_{elektron}$ kinetikai és potenciális energiájának összegével, a molekula atomjainak a kötések menti rezgéséből származó E_{rez} kinetikai és potenciális energiájának összegével és a molekulát felépítő atomok forgó mozgásából származó E_{for} kinetikus energiák összegéből. (Antus & Mátyus, 2014)

$$E_b = E_{elektron} + E_{rez} + E_{for} \quad (2.4)$$

A (2.4) egyenletben avval a feltételezéssel élünk, hogy az atommagok a tömegközépponthez viszonyított helyzetüket nem változtatják meg (Born-Oppenheimer-közelítés), ami kémiai megközelítés esetén azt jelenti, hogy a molekula összetétele, szerkezete és alakja nem változik.

A molekulát alkotó atomok belső kinetikai energiájából származó mozgás (2.4) az 1. ábra szerinti „ O ” tömegközéppontra vonatkoztatva a transzlációs energiához hasonló periodikus rezgő mozgást okoznak, ahol az $\dot{r}_i'$ sebességvektor skaláris értéke a rezgés amplitúdójának és frekvenciájának szorzata. A kétféle rezgés eredője a T hőmérséklethez tartozó A_T amplitúdó és ω_T körfrekvencia.

Szilárd anyagoknál a teljes E_{kin} kinetikus energia (2.5) fő rezgési irányonkénti kinetikus energiáknak az összege.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m [(A_x \omega_x)^2 + (A_y \omega_y)^2 + (A_z \omega_z)^2] = \frac{3}{2} m [A_T \omega_T]^2 \quad (2.5)$$

ahol:
 A_T - a T hőmérséklethez tartozó amplitúdó (m)
 ω_T - a T hőmérséklethez tartozó körfrekvencia (Hz)

A (2.5) egyenlet azt is kifejezi, hogy a molekula impulzusa iránytól független, vagyis minden irányban azonos, vagyis a molekulák sebességvektorainak eredője zérus.
Ha a vizsgált test nyugalomban van, akkor a testet alkotó molekulák, elemi részecskék dinamikus egyensúlyban vannak.

A molekulák mozgásának leírásakor a molekula tömegét nem „sűríthetjük” egy pontba, mert a molekula által leírt pálya alakja függ a hőmérséklettől 1. sz. ábra.

A molekula valós V_T térfogata meghatározható, ha megmérjük a test térfogatát és osztjuk a molekulák számával, aszfaltkeverékek esetén ez azonban nem járható út.
Az 1. ábrán a vastag kék színnel jelölt test V_0 térfogata az abszolút nulla, vagyis 0 K hőmérséklethez tartozó térfogatot jelenti.
A molekula pályájának térfogata az abszolút nulla fokhoz képest növekszik az rezgés amplitúdójának arányában. A térfogat növekedése a molekula abszolút nulla fokos felületének FE_0 és az A_T a T hőmérséklethez tartozó amplitúdó szorzata adja meg (2.3). Az így kapott V_T térfogat az FE_0 felület A_T amplitúdóval párhuzamos eltolásából adódik.
A rezgő molekula által leírt pályának a térfogat:

$$V_T = V_0 + FE_0 A_T \quad (2.6)$$

ahol:
 V_0 - a molekula térfogata az abszolút nulla hőmérsékleten (m³),
 V_T - a molekula pályájának térfogata T Kelvin hőmérsékleten (m³),
 FE_0 - a molekula felülete abszolút nulla hőmérsékleten (m²),

Amikor egy test T hőmérséklet következtében előálló hőtágulását mérjük, akkor a mért értékek nem a felület párhuzamos

eltolódását, hanem a térfogat nagyított értékét számítjuk.
Az 1. ábra szerinti vékony kék vonal a nagyított érték, amely jelentősen eltér a párhuzamos eltolásból származó vastag fekete vonaltól, ami leírja a molekula hőmérséklet miatt megváltozott rezgési pályáját.
Ebből a mérési sajátosságból adódik az mérési tapasztalat, hogy a nem izotróp anyagok harántkontrakciós tényezői a μ Poisson számai és a terhelés irányában történő ε fajlagos alakváltozások irányfüggőek.

Az irányfüggőség csak akkor jelentkezik, ha a molekulák, bármely okból - pl. mágneses erőtér miatt – a testet irányfüggően építik fel. Irányfüggőséget számtalan szerves anyag esetén tapasztalunk, pl. fa rostjai.
Ha a molekula testen belüli elrendezése megmarad irányfüggőnek, akkor egy szabályos test pl. gömb, vagy kocka esetén a molekulák irányonkénti darabszáma eltérő lesz, kocka esetén „a, b, c” db. Irányfüggetlenség lesz a szabályos testet minden irányban azonos számú molekula, elemi részecske alkotja.

A hőmérséklet vagy a terhelés megváltoztatja a molekulák 1. ábra szerinti pályáját, amely változás minden esetben leírható a feszültségirányú ΔA amplitúdó változása és a feszültségre merőleges irányú $\mu \Delta A$ keresztirányú alakváltozással.

Irányfüggő, nem izotróp test esetén a mért μ Poisson száma és a terhelés irányú ε fajlagos alakváltozások azért irányfüggőek, mert a testen (X, Y, Z) irányokban a mért Δl alakváltozás a mérési irányban eltérő molekulaszám van.

Egy példán bemutatva, ha egy kocka élhosszúsága „HO” és X irányban „a”, Y irányban „b”, Z irányban „c” a molekulák száma, akkor σ_x X irányú feszültségből X irányban a mért $\Delta l_x = a \Delta A$, míg a mért Y keresztirányú alakváltozás $\Delta l_y = \mu b \Delta A$, a mért Z keresztirányú alakváltozás $\Delta l_z = \mu c \Delta A$ lesz.

Nyilvánvaló, hogy a mért $\Delta l_x \neq \Delta l_y \neq \Delta l_z$, miközben a ΔA amplitúdó és a μ állandó.
Könnyen belátható, hogy a nem izotróp anyagoknál a mért $\Delta l_x; \Delta l_y; \Delta l_z$ alakváltozásokból meghatározható a molekula (X, Y, Z) irányú alakja, amely alak követi az $\Delta l_x; \Delta l_y; \Delta l_z$ mért arányokat és irányokat. Ennek megfelelően a molekula pályája egy irányfüggő ellipszoiddal modellezhető, míg izotróp anyagok esetén egy gömbbel.

Az aszfaltkeverék izotróp anyag, mivel a mért $\Delta l_x = \Delta l_y = \Delta l_z$, ezért a továbbiakban csak izotróp anyagokkal foglalkozom.

Az 1. ábrán vastag kék vonallal jelölt molekula - amely molekula az abszolút nulla fokon jó közelítéssel merev testként viselkedik – T hőmérséklettől függő pályája nem lehet gömb alakú, de „ k ” számú molekula pályájának átlaga már gömb alakú kell legyen, ha a test izotróp viselkedést mutat.

Gömbi pálya esetén a molekula pályájának térfogata a hőmérséklet függvényében:

$$V_T = V_0^{gömb} (1 + \alpha(T))^3 = \frac{4\pi}{3} (R + A_T)^3 \quad (2.7)$$

$$A_T = R \int_0^T \alpha(T) dT \quad (2.8)$$

ahol:
 R - a „ k ” db irányfüggő molekula elméleti sugara $T=0$ (K) hőmérsékleten (m),
 $\alpha(T)$ - hőtágulás.

3. A molekulák rezgésének átlagos amplitúdója

Konzervatív erőterben a 2. ábrán szerint az „ r_0 ” és az „ r ” pontok között végzett munka független a pálya alakjától, a tömegpont E_{mech} a mechanikai energiája (3.1) a mozgás során állandó marad.

$$E_{mech} = E_{kin} + E_{pot} = \text{állandó} \quad (3.1)$$

Nem konzervatív erőterben a tömegpont mechanikai-energiájának változása egyenlő a rá ható disszipatív erők munkájával, pl. hőszugárzás.

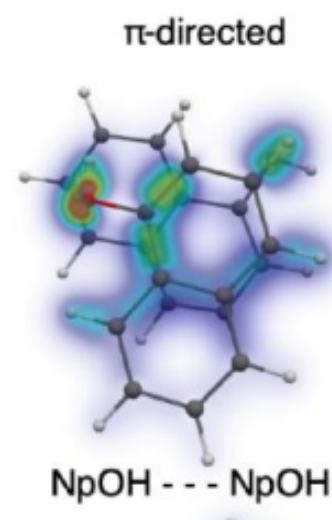
A molekulát alkotó atomok közötti – elsődleges kémiai kötés - kölcsönhatási energia lényegesen nagyobb, mint a molekulák közötti, intermolekuláris – másodlagos kémiai kötés - kölcsönhatási energia.
Az építőmérnöki gyakorlatban előforduló terhelések, impulzusok általában nem képesek az elsődleges kémiai kötések megváltoztatni, érdemben az intermolekuláris, sokkal gyengébb másodlagos kémiai kötésekre hathatnak.



2. ábra: Konzervatív erőter esetén két különböző pályán az erőter munkája azonos.

Egy m tömegű O tömegközéppontú molekula a testet alkotó többi molekula által együtt keltett elektromos és mágneses erőterben mozog, amely erőter a molekulák folyamatos véletlenszerű mozgása miatt változó. Bitumen esetén, amely apoláris molekulákból áll a másodlagos kémiai kötéseket Boltzmann által elnevezett van der Waals (van der Wals, 1873) erőknél hívjuk, ahol a vonzás alapja a London-féle diszperziós effektus.

Valós molekulán ez a vonzás nagyon komplex versengő erőhatások eredője (Mata, et al., 2024)



3. ábra: Naftol diszperziós kölcsönhatása, ahol a kék szín a gyenge, zöld szín a közepes, míg a piros szín az erős kölcsönhatást jelzi.
forrás: (Mata, et al., 2024)

A 3. ábrán kettő naftol (NpOH) molekula diszperziós kölcsönhatási energiáit tartalmazza. A kölcsönhatás függ a molekulák, atomok távolságától, az egymáshoz viszonyított térbeli helyzetüktől, az ütköző molekulák Boltzmann-féle eloszlás szerinti sebességétől.

A sokelektronos Schrödinger-egyenlet pontos megoldása néhány atomnál több atomra - a rendszer méretével exponenciálisan növekvő számítási bonyolultsága miatt - még mindig lehetetlen. (Schafer, et al., 2024).

Jó közelítő megoldások léteznek (Keszi, 2015), de aszfaltkeverékekre ezek se használhatók a rendkívül sokféle molekula, atom miatt.

A Lennard-Jones-potenciál (Jones, 1924) egy egyszerű modell, amely még mindig képes leírni az egyszerű atomok és molekulák közötti kölcsönhatások alapvető jellemzőit (3.2). A molekulák tömegét a modell a tömegközéppontba „zsugorítja”. Valós térfogattal rendelkező molekulák esetén a 3. ábra alapján, az LJ modell szerinti távolságok a molekulák felületeitől értelmezendők, ahol a kölcsönható atomok is találhatók.

$$U(r) = 4EP_{min} \left[\left(\frac{r_0}{r} \right)^{12} - \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 \right] \quad (3.2)$$

ahol:

r_0 - az a távolság, ahol a részecske-részecske potenciális energiája már nulla

r - kölcsönható részecskék közötti távolság

EP_{min} - potenciális energia minimuma, a vonzás maximuma

A teljes mechanikai energiát az atomok, molekulák közötti kölcsönhatások összege adja (3.3). Általában elegendő két molekula kölcsönhatását figyelembe venni, mivel a többi molekula még túl messze van $\frac{r_0}{r} \sim 1,0$, a kölcsönhatás elhanyagolható.

$$E_{mech} = \sum_i \frac{p_i^2}{2m} + \sum_{i < j} U_2(r_{ij}) + \sum_{i < j} U_3(r_{ij}, r_{ik}, r_{ki}) + \dots \quad (3.3)$$

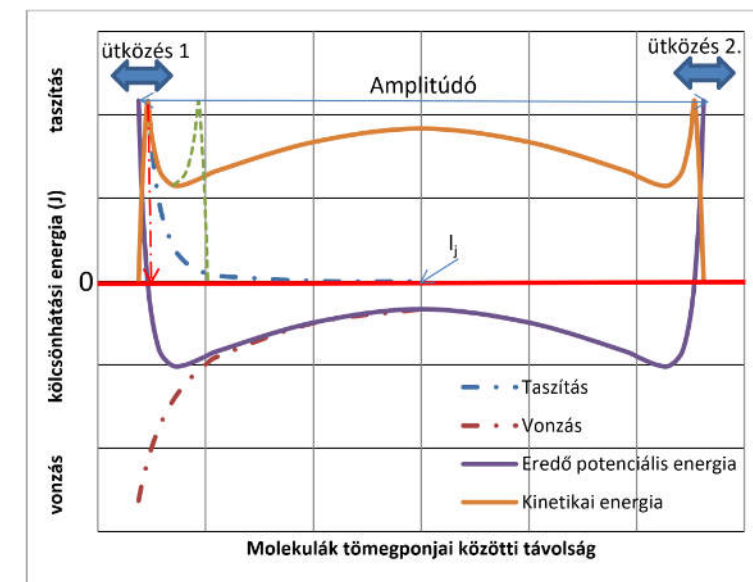
ahol:

p_i - impulzus (kg m/s)

Az aszfaltkeverék azonban százánál is több komponensből áll, ezért még a (3.3) egyenlet se alkalmazható az építőmérnöki gyakorlatban.

Az LJ-potenciál (3.1) általános jelleggörbéje 4. ábra, ahol a jelleggörbe gáz és folyékony halmazállapot közötti átmenetet reprezentál.

Gáz halmazállapotban két ütközés közötti távolságban az eredő potenciális energia zérusnak vehető fel, ahol a mechanikai csak kinetikus energia.



4. ábra: Kölcsönhatási energiák sémája a molekulák tömegközépponti távolságának függvényében.

Folyékony és szilárd halmazállapotban - lásd. 5. ábrát - a legstabilabb állapot a molekula rezgési középpontjában l_j az eredő EP_{min} potenciális energia minimumának közelében helyezkedik el.

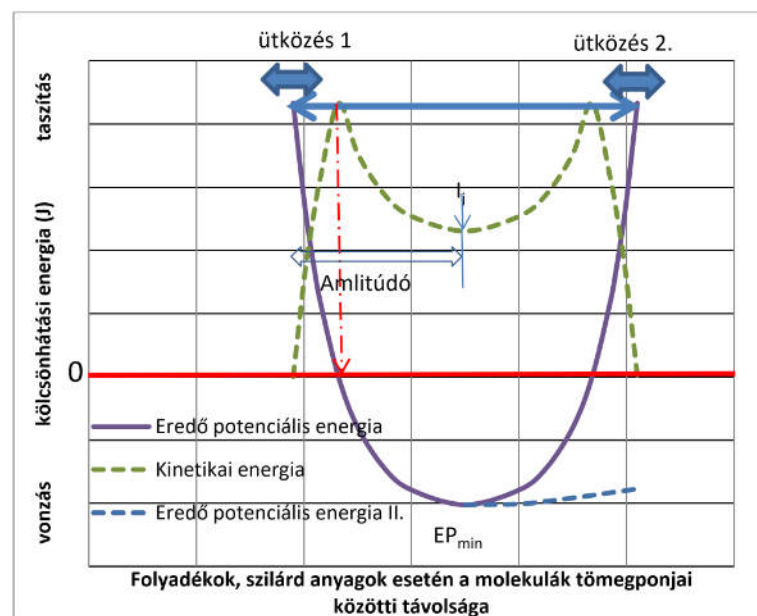
Ha a molekulák egymáshoz viszonyított helyzete nem változik, pl. nincs diffúzió, akkor a minden molekula tömegközéppontja az l_j pont körül rezeg.

A 4. és 5. ábrákon egy molekula vonalmenti pályáját és eredő potenciális energiájának változást jelölöm az LJ-potenciál jelleggörbéjének segítségével. A 4. és 5. ábrákon az ütköző molekulák tömege és sebessége azonos és az ütközés rugalmas, vagyis nem jön létre új termék, a molekulák összetétele, szerkezete és térbeli alakja nem változik az ütközés után.

Az atomok között valódi ütközés nem jön létre, csak egy igen kicsi néhány (pm) távolságra megközelítik egymást, amely távolság az E_{mech} mechanikai energiától függ.

Minden ütközéskor a potenciális energia maximális, vagyis a mechanikai energia egyezik a potenciális energiával.

A (3.1) következménye, hogy a klasszikus fizikában a tömegpont nem tartózkodhat olyan helyen, ahol a potenciális energia meghaladja a tömegpont E_{mech} mechanikai energiáját.



5. ábra: Szilárd és folyékony anyagok kölcsönhatási energiáinak sémája a molekulák tömegközépponti távolságának függvényében.

Az eredő potenciális energiát a kölcsönható molekulák közötti tasztító és vonzó energiák összege adja, amelynek közelítő megoldása az LJ-potenciál 4. és 5. ábrák.

Ütközés után a molekulák távolodnak az ütközés helyétől, de az LJ potenciál mindig két molekula távolságára vonatkozik, ezért a molekulák tömegközéppontjainak távolsága nem az ütközés helye és a molekula helye közötti távolság, hanem a molekulák pillanatnyi távolsága.

Az 1. ütközéstől távolodva a valószínűsíthető 2. ütközés felé a molekula kinetikai energiája rohamosan növekszik addig a pontig, amíg az eredő potenciális energia nulla értékű nem lesz, a 4. és 5. ábrákon piros szaggatott vonallal jelöltem a helyet. A molekula impulzusvektora itt éri el maximumát, iránya azonban változó, mivel egyre nagyobb hatást gyakorol rá a többi molekula, amelyek vonzzák a vizsgált molekulát.

Az eredő potenciális energiának van szélső értéke, ahol a molekulák közötti vonzás maximális- potenciálgödör -, ezen a helyen a molekula kinetiai energiája minimális, hiszen konzervatív erőterben a mechanikai energia állandó.

Ha a környező molekulák túl távol vannak 4. ábra, akkor a molekula elhagyja a potenciálgödört és folyamatosan távolodik az ütközés helyétől pl. gázok esetén.

A vonzó eredő potenciális energia folyamatosan csökken, amely csökkenés a nulla érték felé divergál, de a vizsgált molekulát térben körülvevő többi molekula is kezd vonzani.

Az eredő potenciális energiát ettől kezdve ismét növekszik. A molekula sebességvektorának iránya egyre inkább a legközelebbi molekula felé fog mutatni.

Az LJ potenciál nem egy vonal, hanem egy felület, amit potenciálisenergia-felületnek nevezünk, amely felület a molekulák térbeli helyzetétől és sebességvektoruktól függően folyamatosan változik.

Ez a megközelítés a reakciókinetikában az ütközési elmélet, amely igen „durva” megközelítés (Keszi, 2015), ha a kémiai reakciók sebességét akarjuk kiszámítani, de az építőmérnöki gyakorlatban olyan eseményeket vizsgálunk, ahol nincs, vagy elhanyagolható a kémiai reakció, ezért a molekulák ütközése rugalmas.

A molekula valós mozgásának leírása még a klasszikus fizika által is igen bonyolult, de a molekulák viselkedése nem követi a klasszikus fizikát, hanem kvantumosak. A kvantumos viselkedés egyik következménye a Heisenberg-féle határozatlansági elv (Heisenberg, 1927), amely szerint az impulzus szórása és a hely szórásának szorzata állandó - a redukált Planck-állandó fele - vagyis minél pontosabban ismerjük az egyik tagot, annál pontatlanabb a másik pl. a hely.

A kvantummechanika és a klasszikus fizika között az átmenetet úgy oldhatjuk meg, hogy nem egy, hanem „ k ” darab molekula ütközésének átlagával számolunk.

A „ k ” szoros ütközés esetén már az ütközések átlagos távolsága is pontosan értelmezhető, ami „ k ” molekula rezgésének átlagos amplitúdója.

A molekula modell szerinti tömegközéppontja egy saját l_j pont körül (X, Y, Z) irányokban egyenlő valószínűséggel „ A ” amplitúdóval mozog a 4. és 5. ábrák szerint. Az „ A ” amplitúdó ekkor az átlagos ütközési távolság, amely egy gömb felületét határozza meg, ahol a gömb középpontja az l_j pont, az A távolság a gömb sugara.

A molekulák pályáját leíró gömb sugarát az amplitúdó és a molekulák abszolút nulla fokon kapott sugarának összege adja 6. ábra.

Rugalmas ütközésnél, valójában a molekulák nem ütköznek egymással, hanem az E_{mech} mechanikai energiájuknak megfelelően a tasztító potenciális felületre „felhaladnak”, amíg a kinetikai energiájuk megszűnik. Hasonlóan egy leállított motorral emelkedőn felfelé guruló gépkocsihoz, amely egy idő után megáll és ellenkező irányban gyorsulva visszagurul a lejtőn.

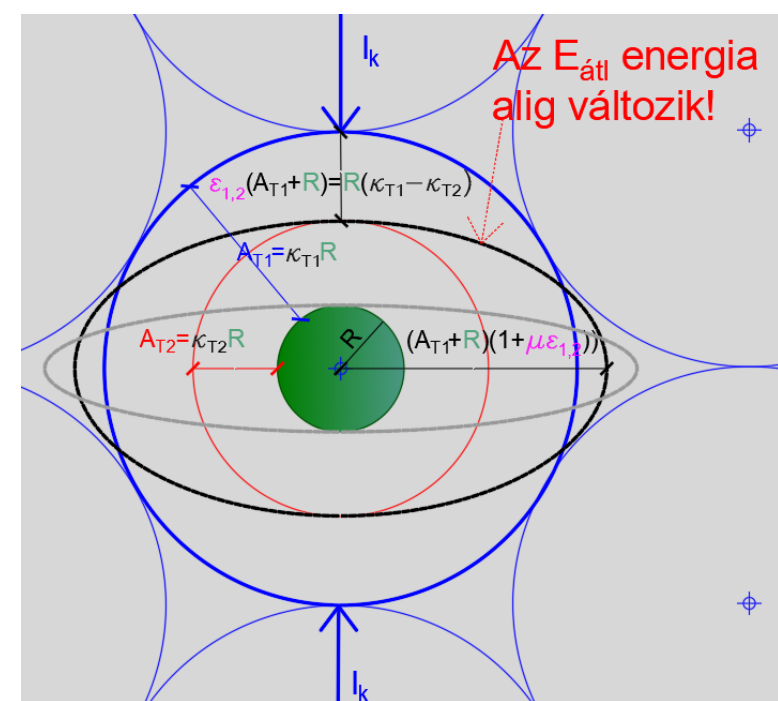
A reakciókinetikában általában az átmenetiállapot-elméletet alkalmazzák az ütközési elmélet helyett, ahol igyekeznek figyelembe venni a molekulák összetételét, szerkezetét és alakját, ahol új termék keletkezését modellezzik, amely esetben a molekulák már rugalmatlanul ütköznek.

Aszfaltkeverékek esetén ilyen számításokat jelenleg még nem lehet elvégezni a rendkívül sok összetevő miatt.

A molekula mechanikai energiája minden esetben a kinetikai energia és a potenciális energia összege. A molekulák ütközése során mindig van olyan r távolság, ahol a potenciális energia zérus, vagyis a tasztítás és a vonzás éppen kiegyenlíti egymást. Ebben a pontban a molekula mechanikai energiája éppen megegyezik a molekula maximális kinetikai energiájával, ezért a molekula mechanikai energiája meghatározható a molekula maximális kinetikai energiájával, a továbbiakban csak kinetikai energia, ahol a teljesül a (2.5) egyenlet.

Ha ismernénk a potenciálisenergia-felületének az egyenletét, akkor a Hamilton-féle hatáselv (Hamilton, 1834) alapján ki lehetne számítani az amplitúdó értékét, de aszfaltkeverékek esetén ez csak elméleti lehetőség.

Az aszfaltkeverék „ km ” féle molekulából áll, ezért az aszfaltkeveréket jellemző átlagos amplitúdó számítása ugyan nem lehetséges, de a hőtágulás segítségével adott T_1-T_2 hőmérsékleti tartományban a 6. ábra alapján részben mérni és számítani tudjuk (3.4).



6. ábra: A hőmérséklet és a terhelés hatása molekula pályájára.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{A_{T1} + R - (A_{T2} + R)}{A_{T1} + R} = \frac{R(\kappa_{T1} - \kappa_{T2})}{R(1 + \kappa_{T1})} = \int_{T2}^{T1} \alpha(T) dT \quad (3.4)$$

$$\kappa_T = \frac{A_T}{R} \quad (3.5)$$

ahol:

- $\varepsilon_{1,2}$ - a fajlagos alakváltozás $\Delta T = T_1 - T_2$ hőmérsékleti változásnál,
- $\alpha(T)$ - hőtágulási együttható (1/K)
- κ_T - T hőmérsékleten a molekula rezgési amplitúdójának és sugarának aránya.

A 6. ábrán a vastag kék kör a molekula gömbi pályáját jelöli T_1 hőmérsékleten, míg a vékony piros kör a T_2 hőmérsékletre tartozó gömbi pálya. Az R sugarú zöld felület a molekula abszolút nulla hőmérsékletre tartozó gömbi alakját mutatja. Ha a molekula összetétele, szerkezete és alakja a terhelés hatására nem változik, akkor felírható:

$$\varepsilon_{1,2}^{max} = \frac{A_{T1}}{A_{T1} + R} \sim 2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3} \quad (3.6)$$

A (3.6) egyenlet behatárolja, hogy adott anyag rugalmasan milyen mértékben nyomható össze. A test ennél nagyobb mértékű fajlagos alakváltozása már csak folyással, és/vagy repedésekkel együtt fordulhat elő.

A (3.6) azt is kifejezi, hogy adott anyag milyen mértékben tökéletesen merev ill. viselkedik rugalmasan. Ez az arány ~99,5%-ban merev és csak ~0,5%-ban viselkedik rugóként, lineáris oszcillátorként.

A fekete ellipszis mutatja, hogy a külső terhelésből származó I_k impulzus hatására a kék gömb hogyan torzul ellipszoiddá. A „Z” irányú külső terhelést úgy vettem fel, hogy a keletkező $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás, egyezzen meg a $\Delta T = T_1 - T_2$ hőmérsékleti változás miatti fajlagos alakváltozással, ezért az ellipszoid egyik főkörének sugara azonos a T_2 hőmérsékletéhez tartozó gömbi pálya sugarával ($A_{T_1} + R$).

A terhelésre merőleges irányú „X;Y” irányú fő körök sugara 6. ábra, számítható a Poisson szám segítségével.

Amikor T hőmérsékleten és „f” terhelési frekvencián az anyag rugalmas viselkedését vizsgáljuk, akkor a 6. ábra kék gömbi pályához képest a fekete ellipszoid irányonkénti változását elemezzük a külső terhelés függvényében.

Tehermentesítés után a fekete ellipszoid pálya alakja a kék gömbi pálya alakját veszi fel.

A fekete ellipszoid pálya alakja függ a T hőmérséklettől és az „f” terhelési frekvenciától.

Az „f” terhelési frekvencia a felterhelési idő reciproka, ezért az „f” felterheléskor az folyamatosan változik, csökken, és csak egy igen rövid dt ideig áll fenn.

A felterhelés folyamata nem konzervatív erőterben történik, ennek következtében a felterhelés során disszipatív energia keletkezik, hasonlóan a tehermentesítéshez. Konzervatív erőter csak azonos „f” terhelési frekvenciák esetén teljesülhet, ennek megfelelően a mechanikai munka megmaradásával is csak azonos terhelési frekvenciájú állapotok esetén számolhatunk.

Konzervatív erőterben a mechanikai munkát a (2.5) alapján számítjuk. Az aszfaltkeverék „km” féle molekulájából molekula fajtánként legalább „k” darab átlagaként kapjuk a T hőmérsékletre és „f” terhelési frekvenciára vonatkozó átlagos molekula rezgésének A_T amplitúdóját és ω_T frekvenciáját.

Az amplitúdó és frekvencia alapján számíthatjuk az átlagos molekulák impulzusát, az impulzus alapján számíthatjuk az erőt és a nyomást. A nyugalomban lévő T hőmérsékletű test esetén a mechanikai energia, impulzus, erő és a nyomás a következő:

$$E(T) = \frac{3}{2} m [A_T \omega_T]^2 \quad \text{mechanikai energia, maximális kinetikai energia}$$

$$I_k(T) = m A_T \omega_T \quad \text{impulzus} \quad (3.7)$$

$$F(T) = m A_T (\omega_T)^2 \quad \text{erő} \quad (3.8)$$

$$\sigma(T) = m \frac{A_T (\omega_T)^2}{[2(R + A_T)]^2} \quad \text{nyomófeszültség} \quad (3.9)$$

4. Külső terhelés hatása

A továbbiakban is az aszfaltkeveréket jellemző átlagos viselkedésű molekulával számolunk.

Vizsgáljuk meg a „Z” tengellyel párhuzamos külső terhelésből adódó $\Delta\sigma$ feszültségváltozás hatását, amely terhelés állandó T_1 hőmérsékleten és „f” terhelési frekvenciával történik. A terhelés hatására a 6. ábra szerinti kék színű jelölt gömbi alakú molekula pálya a fekete színű ellipszoid pályává módosul.

Ellipszoid pálya esetén a nyomófeszültség – molekulák között csak nyomófeszültség létezik, a húzófeszültség, a nyomófeszültség csökkenéseként értelmezhető – irányonként eltérő, de a fő feszültségi irányokkal továbbra is meghatározott.

Egyirányú terhelés esetén a terhelési iránnyal párhuzamosan felírható a $\Delta\sigma_{1,2}$ feszültségváltozás a T_1 és T_2 hőmérsékletekhez tartozó nyugalmi nyomások különbségeként 6. ábra.

$$\sigma_{T_2} - \sigma_{T_1} = \Delta\sigma_{1,2} \quad (4.1)$$

Terhelés hatására a molekula (3.7) szerinti impulzusa ill. sebessége $z_{1,2}$ szeresére növekszik, de a növekedés iránytól függetlenül azonos értékű marad - a molekulának nincs iránytűje és sebességmérője -, ha a sebességváltozás nem maradna azo-

nos értékű, akkor a test nem maradhatna dinamikus egyensúlyban, ami azonban ellentmondana a tapasztalatnak. A $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátor feszültség hatására bekövetkező impulzusnövekedés igen kis mértékben, de növeli az energiát (4.3):

$$E_2(T_1) = z_{1,2} E_1(T_1) \quad (4.3)$$

Az energia növekedése az egész testben a külső terhelés miatt létrejött belső munkákból származik (4.4), ahol a belső munka (4.5).

$$E_2(T_1) = L_b + E_1(T_1) \quad (4.4)$$

$$L_b = \iint_{(V)(\varepsilon)} \underline{\Delta\sigma}^* d\varepsilon dV \quad (4.5)$$

Az energiaváltozás:

$$z_{1,2} = \frac{L_b + E_1(T_1)}{E_1(T_1)} = 1 + \frac{L_b}{E_1(T_1)} \quad (4.6)$$

A mérnöki gyakorlatban előforduló $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátor feszültség nagyon kicsi – szinte mérhetetlen – elhanyagolható hőmérsékletváltozást okoz.

Aszfaltkeverékek esetén az arány (Zsichla, 2024):

$$\frac{L_b}{E_1(T_1)} < 10^{-5} \quad (4.7)$$

Egy 4000 MPa komplex modulusú 1 dm³ aszfaltminta 0-ról 1,0 MPa-ra állandó sebességű felterheléséhez 0,125 J energia szükséges, míg az aszfalthabarc 1 °C hőmérséklet-növeléshez szükséges energia (Zhao, et al., 2020) 950 J/(kg°C) fajlagos hőkapacitás esetén ~2400 J. Más szerzők szerint az aszfaltkeverékek fajlagos hőkapacitása 1000-2000 J/(kg°C) között várható (Mamlouk, et al., 2005). Terhelés hatására a gömb alakú molekulapálya ellipszoiddá válik, de a molekula rezgésének sebessége minden irányban állandó marad, ezért:

$$A_{x_2} \omega_{x_2} = A_{y_2} \omega_{y_2} = A_{z_2} \omega_{z_2} \quad (4.8)$$

ahol:

$A_{x_2}; A_{y_2}; A_{z_2}$ - az (X, Y, Z) fő irányokban a molekula rezgésének amplitúdói Z irányú $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátorfeszültség, T_1 hőmérsékleten és „f” terhelési frekvencián,
 $\omega_{x_2}; \omega_{y_2}; \omega_{z_2}$ - az (X, Y, Z) fő irányokban a molekula rezgésének frekvenciái Z irányú $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátorfeszültség, T_1 hőmérsékleten és „f” terhelési frekvencián.

A (4.3) és a (4.8) egyenletek segítségével felírható (4.9):

$$E_2(T_1) = m [(A_{x_2} \omega_{x_2})^2 + (A_{y_2} \omega_{y_2})^2 + (A_{z_2} \omega_{z_2})^2] \quad (4.9)$$

A 6. ábra alapján a T_2 hőmérsékletű nyugalomban lévő test molekula pályájához – piros gömb - tartozó A_{T_2} amplitúdó megegyezik a terhelés irányú fekete ellipszoidhoz tartozó A_{z_2} irányú amplitúdóval és a ω_{T_2} frekvencia is megegyezik a terhelés irányú ω_{z_2} frekvenciával.

A (3.9); (4.3); (4.8) és (4.9) egyenletek alapján levezethető:

$$A_{T_2} = A_{z_2} = A_{T_1} (1 - \varepsilon_{1,2}) - \varepsilon_{1,2} R \quad (4.10)$$

$$A_{x_2} = A_{y_2} = (R + A_{T_1}) (1 + \mu \varepsilon_{1,2}) \quad (4.11)$$

$$\omega_{T_2} = \omega_{z_2} = \frac{\sqrt{z_{1,2}} A_{T_1} \omega_{T_1}}{(A_{T_1} (1 - \varepsilon_{1,2}) - \varepsilon_{1,2} R)} \quad (4.12)$$

$$\omega_{T_2} = \omega_{z_2} = \frac{\sqrt{z_{1,2}} A_{T_1} \omega_{T_1}}{(A_{T_1} (1 - \varepsilon_{1,2}) - \varepsilon_{1,2} R)} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{T_1} = m \frac{A_{T_1} (\omega_{T_1})^2}{[2(R + A_{T_1})]^2} \quad (4.14)$$

$$\sigma_{T_2} = \sigma_{z_2} = m \frac{A_{T_2} (\omega_{T_2})^2}{[2(R + A_{T_1}) (1 + \mu \varepsilon_{1,2})]^2} \quad (4.15)$$

$$\Delta\sigma_{1,2} = \sigma_{T_1} \left[\frac{z_{1,2}}{\left[1 - \varepsilon_{1,2} \left(1 + \frac{R}{A_{T_1}}\right)\right] (1 + \mu \varepsilon_{1,2})^2} - 1 \right] \quad (4.16)$$

A Hook (Hook, 1687) megfigyelése alapján a rugalmas anyagok lineárisan rugalmasan viselkednek, ennek megfelelően a feszültség fajlagos alakváltozás aránya a terhelés során, a deviátorfeszültség változásával arányosan változik, az $EK_{1,2}$ rugalmassági modulus állandó:

$$EK_{1,2} = \frac{\Delta\sigma_{1,2}}{\varepsilon_{1,2}} \quad (4.17)$$

A (4.16) egyenlet (4.17) egyenletbe helyettesítésével belátható, hogy az $EK_{1,2}$ rugalmassági modulus nem lehet állandó, de bizonyos feltételek mellett, elfogadott tűrésen belül állandónak tekinthetjük.

A (4.16) egyenletben a $z_{1,2} \sim 1,0$ és $\frac{1}{(1 + \mu \varepsilon_{1,2})^2} \sim 1,0$ jó közelítéssel felvehető, de ez még önmagában nem eredményezi a rugalmassági modulus állandóságát (4.18).

$$EK_{1,2} = \sigma_{T_1} \left[\frac{\left(1 + \frac{R}{A_{T_1}}\right)}{1 - \varepsilon_{1,2} \left(1 + \frac{R}{A_{T_1}}\right)} \right] \quad (4.18)$$

Mint már említettem sok modell nem veszi figyelembe, hogy a test molekulákból áll és a molekuláknak van térfogata, amely egy R sugarú gömbbel modellezhető. Ha a sugarat $R=0$ -nak tekintjük, vagyis egy elméleti pontba „zsugorítjuk” a molekula tömegét, akkor a rugalmassági modulus $\varepsilon_{1,2}$ nagyon kicsi fajlagos alakváltozásnál már közel állandó, vagyis közelítően megkapjuk a Hook összefüggést (4.17).

Az MSZ EN 12697-26 szerint a merevségi vizsgálatokat $50-300 \mu m$ fajlagos alakváltozások között kell elvégezni még a lineáris tartományon belül. A (4.16) egyenlet segítségével ellenőrizhetjük, ill. megadhatjuk, hogy vizsgálat mennyire tér el a lineáristól.

A linearitást – állandó az EK komplex modulus értéke - úgy tudjuk ellenőrizni, hogy felvesszünk legalább két vizsgálati fajlagos értéket $\varepsilon_{1,2}; \varepsilon_{1,3}; \varepsilon_{1,4}$ stb., ahol az 1-es index a vizsgálati T_1 hőmérsékletre utal. A (4.16) egyenlet alapján számítjuk a $\Delta\sigma_{1,2}; \Delta\sigma_{1,3}; \Delta\sigma_{1,4}$ és deviátor feszültségeket.

A linearitás meghatározásához nem szükséges a σ_{T_1} ismerte, mivel elegendő a fajlagos megnyúlási arányokhoz hasonlítani a számított deviátorfeszültségek arányait.

$$a_1 = \frac{\varepsilon_{1,3}}{\varepsilon_{1,2}}; a_2 = \frac{\varepsilon_{1,4}}{\varepsilon_{1,2}} \text{ és } b_1 = \frac{\Delta\sigma_{1,3}}{\Delta\sigma_{1,2}}; b_2 = \frac{\Delta\sigma_{1,4}}{\Delta\sigma_{1,2}} \quad (4.19)$$

Az EK komplex modulus, akkor állandó, ha:

$$\frac{b_1}{a_1} = \frac{b_2}{a_2} = 1,0 \quad (4.20)$$

A (4.20) azonban nem teljesíthető, ezért meg kell adni egy olyan „ ksz ” küszöbszámot, amely mellett az EK komplex modulus lineárisnak tekinthetjük, pl. $ksz=0,95$.

A (4.16) egyenletben a $z_{1,2} \sim 1,0$ és $\frac{1}{(1 + \mu \varepsilon_{1,2})^2} \sim 1,0$ estén:

$$\Delta\sigma_{1,2} = \sigma_{T_1} \left[\frac{\varepsilon_{1,2} \left(1 + \frac{R}{A_{T_1}}\right)}{1 - \varepsilon_{1,2} \left(1 + \frac{R}{A_{T_1}}\right)} \right] \quad (4.21)$$

A (4.16) helyett a (4.21) egyenlet alkalmazása a (4.20) arányokra nincs gyakorlati hatása, ha a $ksz=0,95$ körüli érték, ezért a (4.21) egyenlet alkalmazása javasolt.

Az átlagos molekula abszolút nulla fokon mért R sugara mindig állandó, viszont a molekula rezgésének A_T amplitúdója hőmérsékletfüggő, ha viszont a vizsgálati hőmérséklet állandó, akkor az A_T amplitúdó is állandó. A (4.21) egyenletben a változó az $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás.

Az A_{T_1} amplitúdó csak a vizsgálati hőmérséklettől függ, amely a T_1 vizsgálati hőmérséklet csökkenésének arányában a hőtágulási együtthatótól függően folyamatosan csökken.

A $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátorfeszültséghez tartozó $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás - $z_{1,2} \sim 1,0$ és $\frac{1}{(1 + \mu \varepsilon_{1,2})^2} \sim 1,0$ közelítések esetén - a (4.21) egyenlet szerint a (3.4) alkalmazásával a $T_1; T_2$ hőmérsékletek között csak a hőtágulási együttható változásától függ (4.22).

$$\varepsilon_{0,1} = \frac{A_{T_1}}{A_{T_1} + R} = \int_0^{T_1} \alpha(T) dT \text{ és } \varepsilon_{1,2} = \int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT$$

$$1 + \frac{A_{T_1}}{R} = \frac{1}{1 - \int_0^{T_1} \alpha(T) dT}$$

$$\int_0^{T_2} \alpha(T) dT = \int_0^{T_1} \alpha(T) dT - \int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT$$

$$\Delta\sigma_{1,2} = \sigma_{T_1} \left[\frac{\int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT}{1 + \int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT - \int_0^{T_1} \alpha(T) dT} \right] = \sigma_{T_1} \left[\frac{\int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT}{1 - \int_0^{T_2} \alpha(T) dT} \right] \quad (4.22)$$

A (4.22) egyenletben a T_1 vizsgálati hőmérséklethez tartozó σ_{T_1} és $\int_0^{T_1} \alpha(T) dT$ állandó, a változó a $T_1; T_2$ hőmérsékletek közötti $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás értéke.

A T_1 vizsgálati hőmérsékleten a $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátorfeszültség miatt bekövetkező $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás nem a hőmérsékletváltozás következménye, hiszen a vizsgálati hőmérséklet és a vizsgálati frekvencia állandó, a valós hőmérsékletváltozás elhanyagolható.

A $\Delta\sigma_{1,2}$ deviátorfeszültség miatt bekövetkező $\varepsilon_{1,2}$ fajlagos alakváltozás értéke azonban azonos avval a fajlagos alakváltozással, amely $\Delta T = T_1 - T_2$ hőmérsékletváltozás miatt bekövetkezne, ezt jelzi a 6. ábra fekete ellipszoidja, amely érinti a T_2 hőmérséklethez tartozó piros színnel jelzett gömböt.

5. Hook „törvény” feltételei

A mérnöki gyakorlatban a Hook összefüggés „törvény” nagyon fontos, a pályaszerkezet méretezésnél is alkalmazott egyenlet, ezért kiemelkedően fontos megvizsgálni, hogy elfogadható hibahatáron belül milyen feltételek mellett teljesülhet.

Könnyen belátható, hogy a molekulák, elemi részecskék amplitúdójának változása függ a hőmérséklettől – hőtágulás - 5. ábra. Azt azonban nem tudjuk igazolni, hogy ez a változás lineáris, vagyis az amplitúdó együtthatójának függvénye állandó lenne, $c(T)=c$ állandó.

$$A_{T_i} = c(T) T_i \quad (5.1)$$

ahol:

$c(T)$ - az amplitúdó együtthatójának hőmérsékleti függvénye (m/K)

A továbbiakban azt fogom igazolni, hogy a Hook összefüggés csak akkor teljesülhet, ha a $c(T)=c$ az amplitúdó együtthatója állandó.

A bizonyítást egyszerűsíti, ha bevezetjük a (5.2) összefüggést a molekula sugarának és az amplitúdó együtthatójának $sz(T)$ hányadosát, amely ha az amplitúdó együtthatója állandó, akkor a hányados is állandó.

$$sz(T) = \frac{R}{c(T)}; \quad sz = \frac{R}{c} \quad (5.2)$$

A (3.4), (5.1) és (5.2) egyenlet alkalmazásával levezethető a (5.3), ha a c az amplitúdó együtthatója állandó:

$$\frac{c(T_1 - T_2)}{c T_1 + R} = \int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT \quad (5.3)$$

A (4.22) egyenletbe bírva a (5.3) összefüggést és felhasználva a (5.4)-ot kapjuk:

$$\Delta\sigma_{1,2} = \sigma_{T_1} \frac{T_1 - T_2}{sz}$$

$$\Delta\sigma_{1,3} = \sigma_{T_1} \frac{T_1 - T_3}{sz}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{1,3}}{\Delta\sigma_{1,2}} = \frac{T_1 - T_3}{T_1 - T_2} \quad (5.4)$$

Hasonló módon a (3.4) egyenletbe írva:

$$\frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 + s_2)} = \int_{T_2}^{T_1} \alpha(T) dT = \omega_{1,2}$$

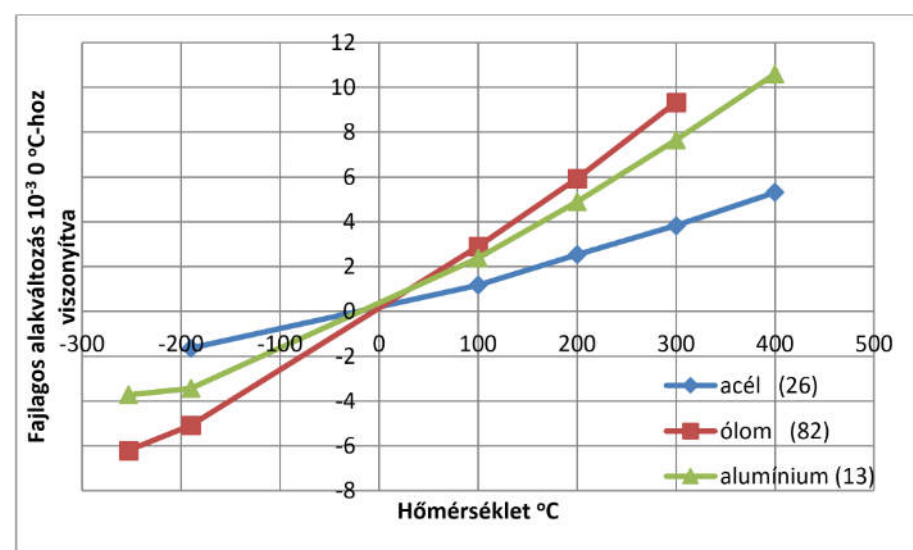
$$\frac{(T_1 - T_3)}{(T_1 + s_2)} = \omega_{1,3}$$

$$\frac{\omega_{1,3}}{\omega_{1,2}} = \frac{T_1 - T_3}{T_1 - T_2} \quad (5.5)$$

A (5.4) és a (5.5) egyenletek igazolják, hogy állandó „c” amplitúdó együtttható esetén a deviátorfeszültség változásának aránya azonos a fajlagos megnyúlás változásával, vagyis a rugalmassági modulus állandó, amely a Hook „törvény”.

A molekula sugarának és az amplitúdó együttthatójának „sz” hányadosa csak akkor lehet állandó, ha a „α” hőtágulási együtttható is állandó, amely közelítően igaz a fémekre lásd. 7. ábra.

Ez az oka annak, hogy pl. az acél közelítően lineárisan rugalmasan viselkedik, de az aszfaltkeverékek és általában a polime-
rek $\alpha(T)$ hőtágulási együttthatója nem állandó, hanem jelentősen függ a hőmérséklettől.



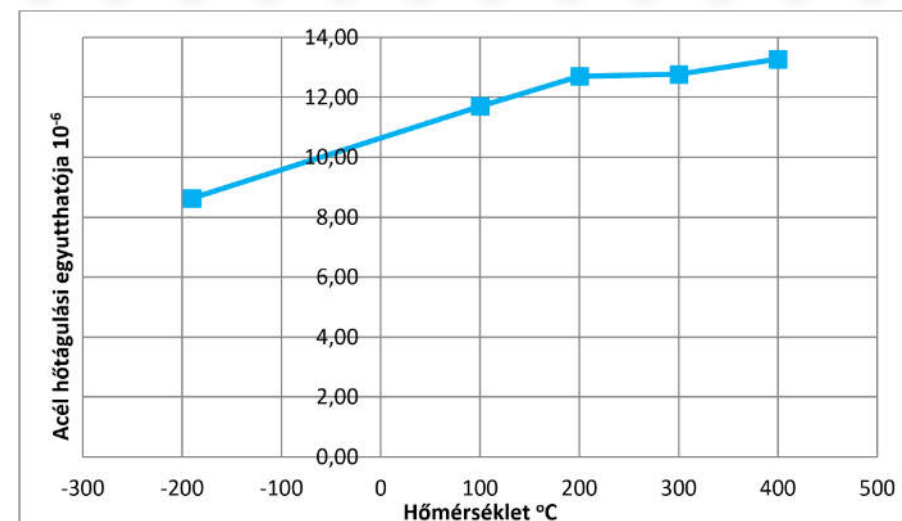
7. ábra: fémek fajlagos alakváltozása 0 °C- hoz viszonyítva.

A hőtágulásból következő fajlagos alakváltozás a 7. ábrán szereplő fémek esetén is csak egy meghatározott hőmérsékleti tartományon belül tekinthető jó közelítéssel lineárisnak.

A 8. ábrán azonban jól látható, hogy még az acél hőtágulása se állandó, az $\alpha(T)$ harmadfokú polinomot követ.

Azonban fémekre is igaz, ha az anyagot folyásig terheljük, akkor elérjük a 6. ábra szerinti abszolút nulla fokhoz tartozó szürke ellipszoidot, amelynek a közelében a hőtágulás még fémek esetén is jelentősen eltér a magasabb hőmérsékletre tartozó hőtágulástól.

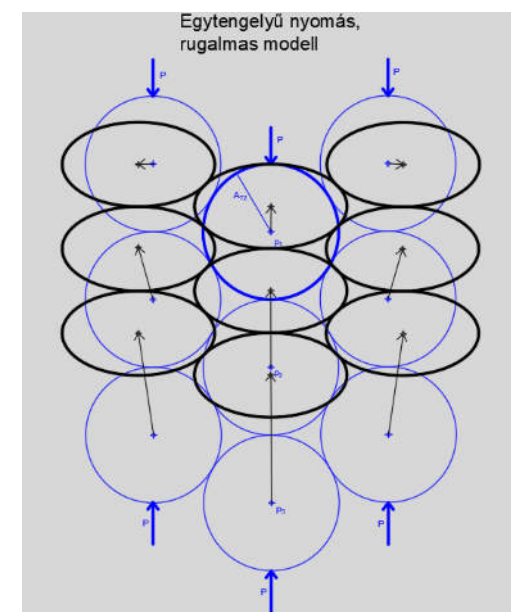
Most is fontos megjegyezni, hogy a mérés T_1 hőmérsékleten és állandó frekvencián történik, tehát a vizsgálati anyag hőmérséklete elhanyagolható mértékben változik – a belső energia alig változik – miközben az anyagot folyásig terheljük. Most elhanyagoltuk, hogy a terhelési frekvencia növelése akár jelentősen is növelheti a hőmérsékletet, vagyis feltételeztük, hogy a terhelési frekvencia olyan mértékű – az építőmérnöki gyakorlatnak megfelelően –, hogy az csak elhanyagolható mértékben növeli meg a test belső energiáját. Egy meteorit becsapódásánál ezt már nem feltételezhetnénk.



8. ábra: Acél hőtágulási együttthatójának változása a hőmérséklet függvényében.

6. Vizsgálati tapasztalatok

Az anyagok viselkedése nem vagy csak közelítően követik a Hook összefüggést. Rugalmasnak akkor nevezzük az anyagot, amikor terhermentesítés után az anyag visszanyeri a terhelés előtti alakját, nem keletkezik maradó alakváltozás 9. ábra.

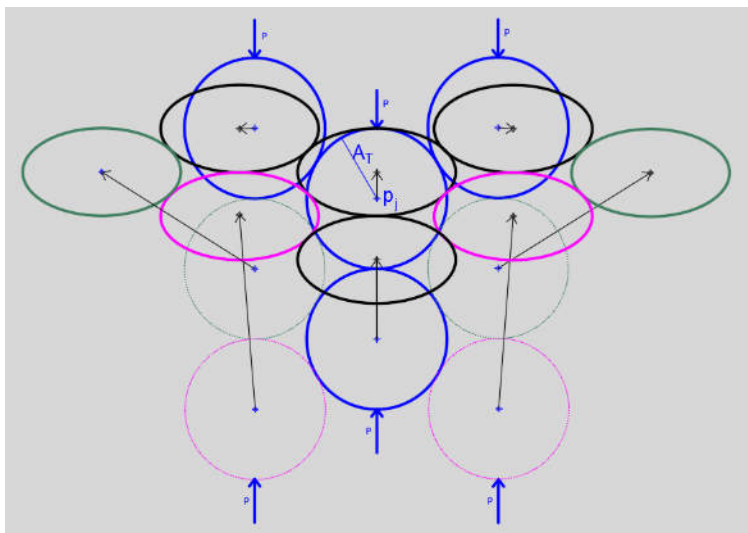


9. ábra: Egytengelyű nyomás rugalmas modellje.

A 9. ábrán a terhermentesítés előtt a molekula pályáját a kék színű gömbök jelenítik meg, amelyek a külső terhelés hatására a fekete ellipszoid alakot veszik fel, majd a terhermentesítés után ismét visszaállnak az eredeti gömbi állapotok. Ez a hatás teljesül, ha az anyag molekulája a terhelés során nem változtatja meg összetételét, szerkezetét és alakját, vagyis teljesül a Born-Oppenheimer-közelítés.

Óriás molekulák, polimerek esetén azonban számolni kell avval, hogy terhermentesítés után a molekulák nem nyerik vissza eredeti alakjukat, mert a többi molekula ebben gátolja – építőmérnöki megfogalmazásban, feszültség marad a molekulában – „k” darab molekula átlagos pályájának alakja nem lesz gömb. Ez a hatás a polimert körülvevő molekulákra is hatással lesz, így azok se nyerik vissza eredeti gömbi alakjukat. A feszültség leépüléséhez, kiegyenlítéséhez idő kell, de ezzel a folyamattal jelen cikkben nem foglalkozom.

Az anyag rugalmas viselkedése mindig együtt jár 10. ábrán szemléltetett diffúzióval, vagyis avval a folyamattal, amikor a molekulák, elemi részecskék a terhelés hatására „elhagyják” a terhelés előtti helyüket. Ekkor anyagáramlás, diffúzió következik be.



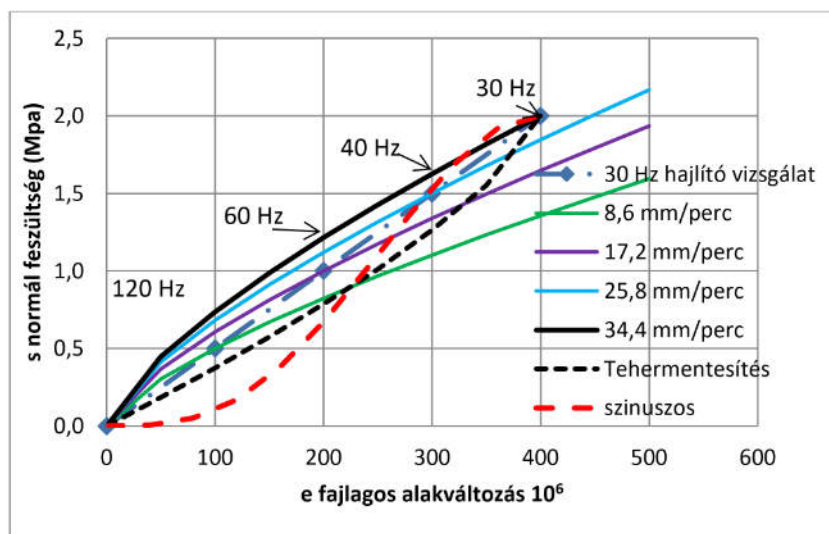
10. ábra: Anyagáramlás

Anyagáramlás esetén a molekula a nagyobb nyomás irányából a kisebb nyomás irányába kezd áramlani, amíg a nyomáskülönbség fennáll. Az anyagáramlás során energia szabadul fel, mivel a helyzetváltoztatáshoz nagyobb energia szükséges, mint a helyben maradáshoz, az energia különbségéből hő keletkezik, amit disszipatív, vissza nem nyerhető, szétszóródó energiának nevezünk. Az anyagáramlás is a kvantummechanika törvényszerűségét követi, de a klasszikus fizikában az áramlást folyamatosnak észleljük.

A kvantummechanika szerint eltérő valószínűséggel, de bárhol „eltűnhetnek” a molekulák és bárhol „megjelenhetnek”, de a vizsgált testet alkotó „kf” számú anyag mennyisége a klasszikus fizikát követve – korrespondencia elve (Hajdú, 2008) – miatt nem változhat.

Az anyagokat általában a rugalmassági modulusuk, vagy komplex modulusukkal jellemezzük, ugyanakkor a vizsgálatokat minden esetben úgy kell elvégezni, hogy a testet a tehermentes állapotból állandó hőmérsékleten egy meghatározott idő alatt egy felvett σ_f feszültségre terheljük fel, majd tehermentesítjük vagy egy felvett σ_a feszültség szintre csökkentjük a terhelést.

Még a közel lineárisan rugalmasan viselkedő anyagok esetén (Hopkinson & Williams, 1912) is a felterhelés és a tehermentesítés során disszipatív energia keletkezik, amit a mérés során kialakuló hiszterézis hurok területe jellemez.



11. ábra: A komplex modulus és az eltérő felterhelési sebességek kapcsolata.

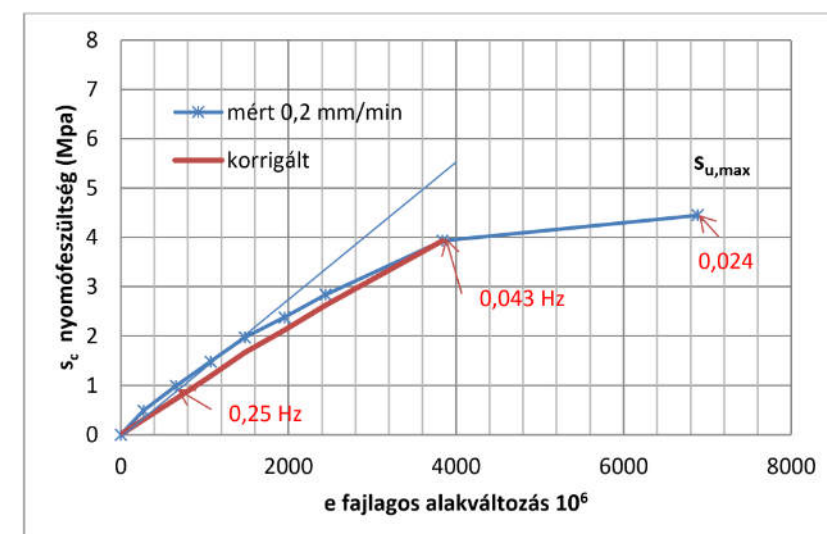
Aszfaltkeverékek esetén az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálat során kapott kezdeti komplex modulusok értéke a 100-400 μm vizsgálati fajlagos alakváltozás esetén jó közelítéssel lineáris 30 Hz mérési körfrekvencián és 20 °C hőmérsékleten, a lineáristól eltérés $\pm 6\%$.

A lineáris tartományon belül keletkező hiszterézis hurok – még nincs mérhető folyás, diffúzió –, amely függ a felterhelés módjától is, szinuszos vagy egyenletes, oka a felterhelés során a változó frekvencia. Eltérő frekvencia esetén a test molekuláinak és elemi részecskéinek állapotát nem konzervatív erőter jellemzi. Nem konzervatív erőterben a tömegpont mechanikai-energiájának változása egyenlő a rá ható disszipatív erők munkájával, pl. hőszugárzás.

Konzervatív erőterben, amikor a frekvencia is azonos már nem keletkezik disszipatív energia. A 11. ábrán az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálat során kapott kezdeti komplex modulusok értéke közel állandó.

A 11. ábrán feltüntettem azokat az egyenletes felterhelési sebességeket is, amelyek a megadott fajlagos alakváltozás értékét azonos idő alatt, vagyis azonos frekvencián érik el.

Az az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálatát végző mérőkészülékek általában nem alkalmasak 400 μm vizsgálati fajlagos alakváltozásnál nagyobb értékek vizsgálatára, ezért nem tudjuk vizsgálni a nem lineáris szakaszokra a komplex modulus értékének változását.



12. ábra: A 20 °C-os vizsgálati hőmérsékletnél 0,2 mm/min felterhelési sebességű mérés átszámítása 0,043 Hz mérésre.

Nyomószilárdság vizsgálatokat végeztünk (Zsichla, 1997) 0,2 mm/min teherfelhordási sebességgel. A vizsgálatok nem állandó frekvenciával történtek, ezért az eredményt közelítően átszámítottam (Zsichla, 2024) a 12. ábrán piros vonallal jelölt 0,043 Hz frekvenciára. A feszültség-alakváltozás nem lett lineáris, aminek három alapvető oka van, az egyik, hogy az aszfaltkeverék hőtágulási együtthatója nem állandó, sőt tág hőmérsékleti intervallumban jelentősen változó, másodsorban a terhelés miatti jelentős alakváltozás miatt egyre több molekula közelíti meg a (3.6) egyenlet szerint $\varepsilon_{1,2}^{max}$ maximális fajlagos alakváltozás értékét, ami után már csak folyás következhet be.

A folyás valószínűsége annál nagyobb, minél nagyobb a molekula pályájának ellipszicitása, minél nagyobb a fő feszültségi irányok feszültségének különbsége. A folyás miatt disszipatív energia keletkezik, amely hő „eltávozik” a vizsgált anyagból, ha a vizsgálatot állandó hőmérsékleten végezzük.

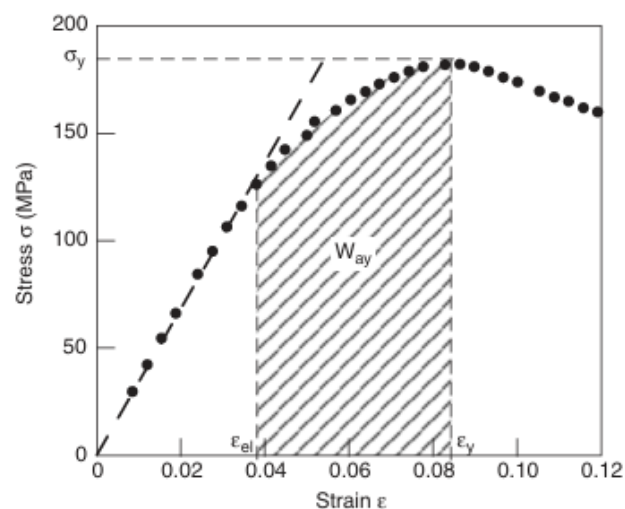
Harmadik ok, hogy a vizsgálati mintában egyre gyakrabban keletkeznek mikroropedések, amelyek szintén növelik a disszipatív energiát.

A vizsgálatok során mértük a maradó alakváltozást, vagyis a folyásból és a repedésekből eredő alakváltozásokat is, amelyek nagyon szoros összefüggésben voltak a végleges törést okozó törőfeszültség arányával.

Különböző anyagoknál a folyásként értelmezett törőfeszültséghez viszonyított arány 70-80% között következik be, és az $\varepsilon_{1,2}^{max}$ maximális fajlagos alakváltozás értéke is a (3.6) egyenletet követi.

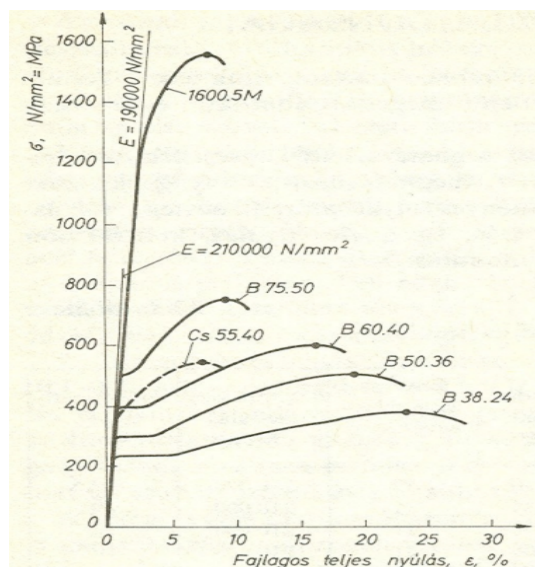
Vizsgálták (Boughalmi, et al., 2006) a polimerek 13. ábrán W_{ay} „elasztikus” energiának elnevezett terület hőmérséklet függését, ahol azt tapasztalták, hogy a hőmérséklet növekedésének függvényében csökken a terület. Ami természetes, hiszen

a hőmérséklet növekedése csökkenti a törőszilárdságot és csökkenti a komplex modulus értékét, ennek következtében a W_{ay} terület is csökken, ha a törőfeszültséghez viszonyított aránya 70-80% közötti, és az $\varepsilon_{1,2}^{max}$ maximális fajlagos alakváltozás értéke a (3.6) egyenletet követi.



13. ábra: Polimer folyási tartománya, Forrás: (Boughalmi, et al., 2006).

Ez az összefüggés nemcsak a polimerekre, hanem a fémekre is alkalmazható 14. ábra.



14. ábra: Az acélok feszültség-alakváltozás görbéi.

A 13. és a 14. ábrákon a feszültség- fajlagos alakváltozás görbéknek van egy maximum értéke, a maximum érték egy számítási hiba, elhanyagolás, mivel a mérés értékelésekor nem veszik figyelembe, hogy a kritikus helyen az anyag keresztmetszete változik, ezért se a számított feszültség, se a számított fajlagos alakváltozás értéke nem pontos. A valós és a számított érték csak kis fajlagos alakváltozások esetén egyezik, amikor az anyag még jó közelítéssel rugalmasan viselkedik.

A mérésakor kialakuló valós feszültség és fajlagos alakváltozás értéke:

$$\Delta\sigma_{1,2}^{valós} = \Delta\sigma_{1,2}(1 \mp \varepsilon_{1,2}) \quad (6.1)$$

$$\varepsilon_{1,2}^{valós} = \ln(1 \mp \varepsilon_{1,2}) \quad (6.2)$$

7. Folyás, nano és mikro repedések megjelenése és terjedése

Az anyag a 10. ábrán szemléltetett folyás, diffúzió miatt kizárólag úgy menne tönkre, hogy egyik irányban „jelentősen” elvékonyodna, a komplex modulus viszont nem csökkenne.

Ha a vizsgált anyag „csupán” folyik, akkor tehermentesítés vagy egy felvett feszültségre visszaterhelés után a vizsgált anyag mechanikai tulajdonságai - néhány kivételtől eltekintve pl. a kis tömegű molekulák gyorsabb mozgása miatt lokális helyen bitumen esetén az eltérő molekulák keveréke változik, a nagyobb feszültségű helyről a kis tömegű molekulák könnyebben és gyorsabban folynak, diffundálnak el - nem változhatnak.

A diffúzió következtében a molekula pályák változatlanok maradnak, de a molekulák helye változik. A diffúzió következménye, hogy lokális helyeken, ahol a legnagyobb a feszültség, a vizsgált anyag elvékonyodik, keresztmetszete csökken a húzás, vagy pontosabban a feszültségcsökkenés irányába.

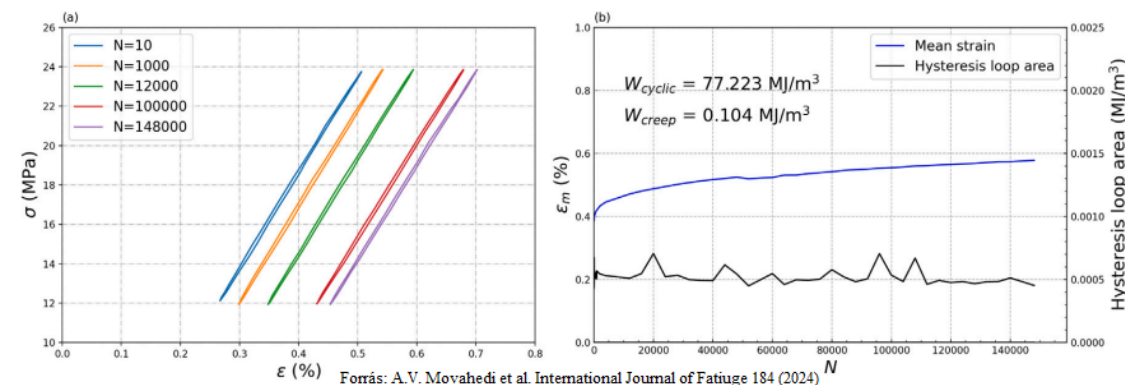
A 10. ábrán szemléltetett folyamat következménye, hogyha terhelést adott σ_f feszültségre felterhelve és adott σ_a feszültségig tehermentesítve a felterhelés és a tehermentesítés következtében előálló hiszterézis hurok területe nem változhat, a disszipatív energiának állandónak kell maradnia.

Aszfaltkeverékek esetén ez nem teljesülhet a később tárgyalandó nano és mikro repedések miatt, de viszko-elasztikus epoxi gyanta ragasztó esetén ez a folyamat vizsgálattal is igazolható (Movahedi, et al., 2024).

A ciklikus húzó vizsgálatokat különböző hőmérsékleten piskóta alakú próbatesteken végezték.

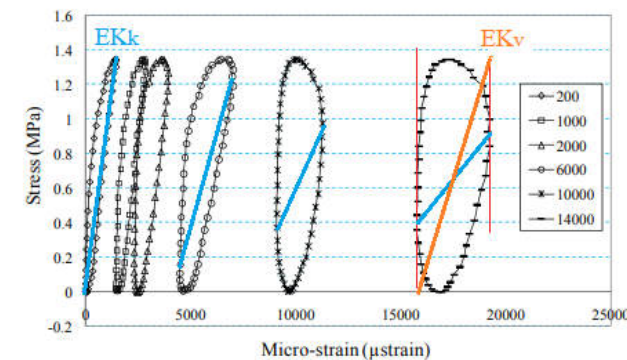
A 15. ábrában a számított feszültségeknél és fajlagos alakváltozásoknál figyelmen kívül hagyták a (6.1) és (6.2) egyenleteket, de a viszonylag kicsi maradó alakváltozások miatt a számított és a valós értékek eltérése elhanyagolható.

A disszipatív energia, a hiszterézis hurok területe a mérés során nem változott, a terhelési ciklus számától független volt, ennek következtében a komplex modulus is állandó maradt, ami vizsgálati igazolása a levezetett elméleti megfontolásoknak.



15. ábra: Epoxi gyanta 20 °C-on ciklikus terhelésének következtében keletkező feszültség-fajlagos alakváltozás és hiszterézis hurok területe.

A teherismétlés során keletkező maradó alakváltozás jól jellemzi a vizsgálati test ismételt terhelés miatti folyását, diffúzióját. Egyetlen terhelés esetén a folyás elhanyagolható, de többszöri terhelés esetén a folyás összegződik, a test alakjának teherismétlés miatti változása, ami az összegzett folyás következménye, már jól mérhető.



16. ábra: Az aszfaltkeverék kontrollált feszültség melletti ciklikus vizsgálata esetén kialakuló hiszterézis hurok területének változása a teherismétlés számának függvényében.

A 16. ábrán szemléltetett aszfaltkeverékek esetén azonban a kontrollált feszültség mellett végzett ciklikus vizsgálat esetén (Wu, et al., 2013) a terhelés ciklus növekedésével a hiszterézis hurok területe növekszik, aminek következtében az $EKk > EKv$ komplex modulus értéke csökken, a disszipatív energia növekszik.

A disszipatív energia növekedésének nem lehet az oka a folyás, diffúzió növekedése, mivel a molekulák helyváltoztatása nem hat az intermolekuláris kölcsönhatásokra, a molekulák átlagos távolsága, amplitúdója a helyváltoztatás miatt nem változhat.

Lényeges változás csak akkor következhet be az intermolekuláris kölcsönhatásokban, ha a testet felépítő molekulák közé pl. a levegő vagy a víz molekulái kerülnek nano vagy mikrorepedések miatt.

A repedések hatásának elemzése már átvisz minket a törés mechanika területére, mely tudományág megalapozója Griffith, aki elsősorban a fémek megmunkálásából következő karcolások hatását elemezte és vezetett le a mai napig alkalmazott elméletet (Griffith & Taylor, 1920).

Bár már Griffith és a később a témával foglalkozó szerzők is felismerték a vizsgált anyagot alkotó molekulák, atomok szerepét befolyását, de az elméleti levezetés mégis megmaradt a hagyományos rugalmasságtan keretei között, döntően azért, mert fémek esetén a Hook „törvény” jó közelítéssel érvényes és a törési folyamat közelítőleg konzervatív erőterben történik. A konzervatív erőter a törésmechanikában döntő szerepet játszó ún. J - vonalmenti integrálok (Scherius, 2012) az úttól függetlenek lásd. 2. ábrát.

A J - vonalmenti integrálokat Rice vezette be, de akik az elméletet átveszik, sokszor elfelejtik, hogy ez csak konzervatív erőterben igaz, sajnos erre maga Rice sem hivatkozik a levezetésben (Rice, 1968). Aszfaltkeverékek esetén a feszültség változása, felterhelés-tehermentesítés nem konzervatív erőterben történik, ezért a törésmechanika eredményeinek aszfaltkeverékekre vonatkozó kritika nélküli átvétele éppen a J - vonalmenti integrálok miatt nem ajánlott.

A repedést általában az anyag hibájaként értelmezzük, mivel a repedést esetlegesen kitöltő gáz, vagy nagyon nagy folyékonyságú, kis viszkozitású víz tölti ki.

Jelen cikkben a szilárd anyag viselkedését modelleztem, ahol a molekulák, elemi részecskék intermolekuláris kinetikai energiája rezgésből származik, míg gázok és a kis viszkozitású víz esetén transzláció (2.1), ennek következtében a gáz molekulák viselkedése alapvetően eltér a szilárd anyagtól.

A repedéseket és az azt kitöltő gázok viselkedést, a szilárd anyaggal kölcsönhatását egy másik modellben kell leírni, de ez a téma már jóval meghaladja e cikk keretét és nincs tudomásom arról, hogy ilyen vagy ehhez hasonló modell létezne, amit az aszfaltkeverékekre közvetlenül alkalmazni lehetne.

Megfelelő anyagmodell hiányában azonban a repedések hatását, terjedését ciklikus vizsgálatokkal 16. ábra tudjuk követni. Aszfaltkeverékben a repedések az aszfaltkeverék gyártásakor nagy mennyiségben keletkeznek, hiszen az ásványi adalékanyagot a bitumen tökéletesen nem képes bevonni, mindig marad felület ahol az ásványi adalékanyag és a bitumen közé levegő, vagy víz molekulák kerülnek, valamint az aszfaltkeverékbe hézagokat is tervezünk.

Amikor ennek a bitumennel bevonatlan felületnek a nagyságát, akarjuk meghatározni, akkor figyelembe kell venni, hogy a felület számítása a térben attól is függ, hogy mekkora a legkisebb távolság, amivel a felületet felmérjük. Tekintettel arra, hogy a gázmolekulák igen kicsik, ezért az a felület, amit bevonnak rendkívül nagy.

A valós felületet ugyan nem tudjuk számítani, de a törekedhetünk a bitumennel bevonatlan felület viszonylag pontos meghatározására. A megoldandó mérési probléma, hogy általában az aszfaltkeveréket alkotó adalékanyag szemcsék teljesen bevontnak, homogénnek látszanak a felületen nincs bevonatlan rész, de a bitumenfilm és az adalékanyag között mégis viszonylag nagy felületi arányban lehetnek gáz molekulákkal érintett felületek.

Nyilvánvaló, ha ez a felületi arány nagy, akkor az adhézió is csökken, ami csökkenti az aszfaltkeverék kohézióját, az ITS hasító-húzó szilárdságát, valamit a fáradási élettartamot is csökkenti.

A gázmolekulákkal érintett felületek valójában „tervezett” repedések, amelyek a terhelés hatására főleg a repedés csúcspontban energiát „nyelnek” el. A terhelés során keletkezett energia egy része a repedés csúcspontban hővé, disszipatív energiává alakul. További energia válik hővé, ha a repedések terjednek a terhelés során, ezt a folyamatot látjuk a 16. ábrán. A szakirodalom manapság gyakran foglalkozik az ún. „öngyógyulás” folyamatáról, de sajnos ennek okát nem tárják fel, nem magyarázzák, ill. félreértik.

Az „öngyógyulás” egy teljesen félrevezető fogalom, ami mögött az húzódik meg, hogy a nano repedések miatt „távol” került testet felépítő molekulák ismét olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy az intermolekuláris vonzás 5. ábra lesz a meghatározó. Ennek a folyamatnak egyik feltétele, hogy „kiszorítsuk” a gáz molekulákat a repedésből.

Repedés úgyis kialakulhat, hogy a molekulák közé nem kerül gáz – levegő - molekula, ekkor a molekulák között vákuum keletkezik, aminek a hatására – aszfaltkeverék esetén a bitumen kis molekulásúlyú, könnyű olajok – a molekulák a nagyobb nyomás irányából a kisebb nyomás – vákuum - irányába kezdenek áramlani. Az áramlás addig tart, amíg a nyomás kiegyenlítődik, a repedés megszűnik.

Gyakoribb eset, hogy nem keletkezik vákuum, mert olyan repedés kezd terjedni, amelyben vannak gáz molekulák, de ez a nanométer kiterjedésű repedés zárt, nincs összeköttetésben külső, ill. nagyobb térfogatú „hézaggal”, egy nagyobb „gázartállyal”.

A repedés növekedésével a repedés térfogata növekszik, de ez a térfogat gázzal van kitöltve, aminek következtében a gáz nyomása csökken. A nyomáscsökkenés miatt megindul a diffúzió, ezért a repedés térfogata csökken, de a repedés felülete már nem biztos, hogy a kezdeti méretre csökken, hiszen azonos térfogat elérhető kisebb vastagság és nagyobb felülettel is. A repedés csúcspontnál azonban a repedés záródhat, főleg a kis tömegű könnyű olajok hatására.

Kedvezőtlen, amikor a repedés egy nagy hézagból indul ki, vagy fordítva a repedés terjedése során egy hézaggal kerül összeköttetésbe. Ebben az esetben a hézag méretétől függően a nyomáscsökkenés szinte elhanyagolhatóvá válik, diffúzió nem indul meg, nem lehetséges az „öngyógyulás”, a repedés nem csökken.

Az „öngyógyulást” szokták magyarázni az ásványi adalékanyag és a bitumen jelentősen, akár két nagyságrenddel eltérő hőtágulásával is, nagyobb hőmérsékleten könnyebben záródnak a repedések. Bitumen esetén a hőtágulás a gátolt alakváltozás miatt nemcsak térfogatváltozással, hanem anyagáramlással, folyással is együtt jár. A folyás, diffúzió minden esetben a kisebb nyomás irányába indul meg, ennek következtében a pályaszerkezet kopórétegében jelentős mértékben a felszín felé, a légkör felé fog irányulni. A következmény látványos különösen a nagy bitumentartalmú öntöttaszfaltok esetén, pl. járdák, nem terhelt felületeknél, ahol a felszíni repedések nem záródnak, mint a betonok esetén, hanem az évek során folyamatosan nyílnak.

A hőmérsékleti különbség miatti termikus repedések „öngyógyulása”, záródása csak akkor valósulhat – szükséges, de nem elégséges feltétel - meg a hőmérsékleti különbség megszűnésével, ha a repedés nincs közvetlen összeköttetésben a légkörrel.

Mivel a repedések idővel a teherismétlés hatására egyre gyakrabban kerülnek összeköttetésbe, sőt egyre gyakrabban a külső légkörrel is kapcsolatba kerülnek, a repedés terjedése gyorsul, a disszipatív energia növekszik, a hiszterézis hurok terület növekszik, aminek a 16. ábra szerinti következménye az EK komplex modulus csökkenése.

Az aszfaltkeverék élettartama, éppen a repedések miatt nem egy egzakt fogalom, mivel a repedés nem az anyag tulajdonsága, hanem az anyag hibája.

Ismert tény, tapasztalat, hogy az aszfaltkeverék bitumentartalmának növelése csak egy ideig javítja a 4 oC-nál magasabb hőmérsékleten mért fáradási élettartamot (Nemesdy, 1986), ami annak köszönhető, hogy a bitumentartalom növelése javítja az adhéziót, viszont csökkenti a törési felületet, ami csökkenti az aszfaltkeverék szilárdságát (Szvoboda & Zsichla, 2024).

A termikus repedések záródásának valószínűségét jelentősen növeli, ha olyan bitumenek alkalmazunk, amelyekben sok kis molekula tömegű „könnyű” olajok találhatóak. A könnyű olajok maximális arányát az aszfaltkeverék meleg viselkedése korlátozza, de ezt kompenzálni lehet az aszfaltkeverék gyártásakor szárazon adagolható polimerekkel, pl. a már 25 éve hazánkban is használt, hazai gyártású P2000 adalékanyaggal.

A könnyű olajok alkalmazásának további korlátot szab, hogy a bitumen szakítószilárdságát csökkenti, ami „kedvezőtlenül” befolyásolja az aszfaltkeverék a mechanikai tulajdonságát, csökkenti a komplex modulus és a szilárdságot.

A kedvezőtlen jelző azonban magyarázatra szorul, mert az alacsony komplex modulusú útpályaszerkezetek a valós útpályaszerkezeti rétegek közé beépítve, akár hosszabb élettartamúak is lehetnek, de a többi út-pályaszerkezeti rétegben nagyobb igénybevételek keletkeznek, így azok tönkremeneteli folyamata gyorsul.

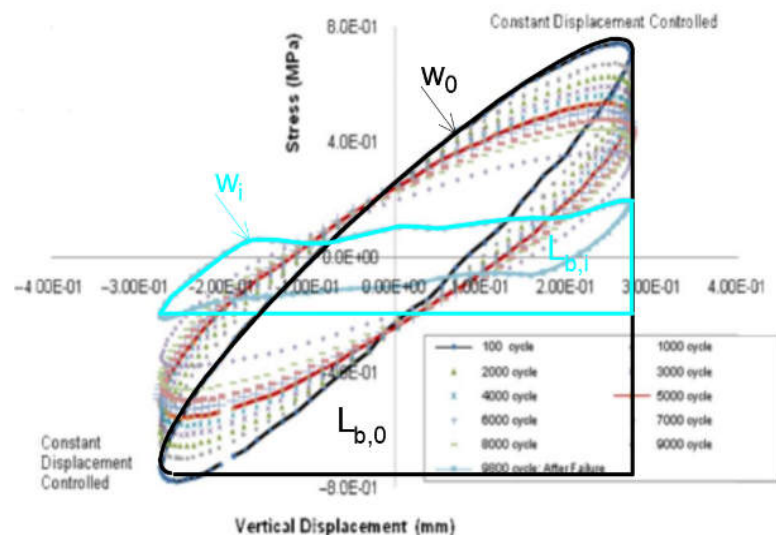
Egy példával élve olyan ez, mint amikor négyen cipelnek egy gerendát és az egyik fél úgy dönt, hogy kevésbé vesz részt a teherviselésben, akkor a többire nagyobb teher hárul és hamarabb elfáradnak, míg a teherviselésből részben kimaradt fél „mosolyog” magában és fitt marad, köznyelven szólva ő lesz a „lógós” fél.

Visszatérve a repedések viselkedésére, ha repedések kanonikus, szabályos sokaságként kezelhetők, akkor viselkedésük matematikai modellekkel leírhatók, vagy közelíthetők.

A kontrollált feszültség mellet végzett ciklikus vizsgálatok jobban leírják az anyaghibával terhelt test viselkedését 16. ábra, mint a kontrollált fajlagos alakváltozás mellett végzett vizsgálatok (Yoo & Al-Qadi, 2010) 17. ábra, ahol a disszipatív energia folyamatosan csökken.

A repedésterjedés folyamatát a 16. ábrán a hiszterézis hurok területének növekedése szemlélteti. Felvett kontrollált σ_f feszültség mellett „ N ” számú teherismétlés lehetséges, mivel az „ $N+1$ ” teherismétlésnél már nem lehet elérni a σ_f feszültséget. Az „ N ” azonban nem jelenti az aszfaltkeverék élettartamának végét, mivel $\sigma_a = x \sigma_f$, ahol $x < 1,0$ feszültségnél még további terhelési ciklus lehetséges, sőt amikor már nem lehet a σ_a feszültséget elérni, akkor a feszültség szint további csökkentésével $\sigma_b = x \sigma_a$ a terhelési szám még tovább növelhető.

A feszültség szint addig csökkenthető, amíg a vizsgált test tiszta nyomás esetén darabokra esik szét, hajlító vizsgálat esetén legalább két részre törik.



17. ábra: Állandó fajlagos alakváltozásnál végzett teherismétlés hatására változó hiszterézis hurok területének változása.

Ellenőrzött fajlagos alakváltozásnál - lásd. 17. ábra - a terhelési szint csökkentése minden esetben a hiszterézis hurok területének és a disszipatív energiájának csökkenésével jár.

A csökkentett terhelési szinten a további terhelés a lecsökkent területet a 16. ábra szerint növelné, de az ellenőrzött fajlagos alakváltozásnál a terhelési szint, a terhelő feszültség folyamatosan csökken, ezért a hiszterézis hurok területe is csökkenni fog.

A repedések számának és kiterjedésének növekedése arányban áll a hiszterézis hurok területével, de csak akkor, ha a terhelési energia változatlan. Folyamatosan csökkenő belső energia esetén ezt az összefüggést úgy tudjuk biztosítani, ha a hiszterézis hurok területét, a w_i disszipatív energiát az $L_{b,i}$ belső energiához viszonyítjuk (7.1).

mértékével.

$$\frac{w_0}{L_{b,0}} < \frac{w_i}{L_{b,i}} < 1,0 \quad (7.1)$$

ahol:

- w_0 - kezdeti disszipatív energia (J),
- w_i - „ i ” teherismétlésnél a disszipatív energia (J),
- $L_{b,0}$ - kezdeti terheléshez tartozó σ_0 feszültségnél keletkező belső munka (J),
- $L_{b,i}$ - „ i ” terheléshez tartozó σ_i feszültségnél keletkező belső munka (J).

Ellenőrzött fajlagos alakváltozás esetén a teherismétlési szám növekedésével egyúttal folyamatosan csökkenő disszipatív energiából vezeti le Hopman (Hopman, et al., 1989) a tönkremeneteli folyamatot (7.2), bár az eredmény a vizsgálati módszertől is függ (2PB) vagy (4PB) teszt (Maggiore, et al., 2013).

A vizsgálati eredmények azonban nem feltétlen igazolják vissza (Hopman, et al., 1989) összefüggése szerinti tönkremenetelt (Mandula & Olexa, 2017), nem egyértelmű hogy a makro-repedések mikor jelennek meg.

Az elfogadott (Hopman, et al., 1989) elmélet a 17. ábra szerinti „ i ” teherismétléshez tartozó disszipatív energiát hasonlítja a kezdeti első teherismétléshez tartozó disszipatív energiához.

$$HP = nt \left(\frac{w_0}{w_i} \right) \quad (7.2)$$

nt - teherismétlés száma (db)

Az elmélet szerint a HP egy ideig lineáris, majd exponenciálissá válik. A „tönkremenetel” az a teherismétlési szám, ahol a HP exponenciálisan kezd növekedni, ahol a makro-repedések is megjelennek.

Az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálat is lehetővé teszi a disszipatív energia számítását. A hazai vizsgálat is a kontrollált fajlagos alakváltozás szerint történik, ezért a hiszterézis hurok területe, a w_i disszipatív energia a teherismétlési szám növekedésével folyamatosan csökken.

A tapasztalat szerint a teherismétlés számának növekedésével a nano és mikro repedések folyamatosan növekednek és egyre gyakoribbá válnak. Nem vitatható, hogy a repedések számának és kiterjedésén növekedése a disszipatív energiát is növeli.

A (7.2) egyenletben és a 17. ábra szerint is a kezdeti és az „ i ” terhelés utáni disszipatív energia aránya $\left(\frac{w_0}{w_i} \right)$ folyamatosan csökken, ami igaz, de félrevezető a viszonyítási alap, mivel figyelmen kívül hagyja a külső terhelés miatt változásából eredő belső energia változását.

A w_i disszipatív energia a terheléssel bevitt (4.5) $L_{b,i}$ teljes munka arányában még állandó fajlagos alakváltozás és változó terhelési feszültség mellett is növekszik. A $\frac{w_i}{L_{b,i}}$ arány (7.1) szükségszerű összefüggésben van a növekvő repedésszám és a repedések terjedésének

A (7.1) arány pontosabban fejezi ki azt a tapasztalatot és mérnöki várakozást, hogy a repedezettség és a disszipatív energia is folyamatosan növekszik.

Az anyag élettartamának végén 17. ábra a repedések terjedése lassul, a szabályos ellipszis alakú hiszterézis hurok kisebb átmérője is csökkenni kezd, a hiszterézis hurok kezd eltérni a szabályos ellipszis alaktól.

A (7.1) egyenlet alkalmas annak a megítélésére is, hogy a teherismétlés során a vizsgált anyagban keletkeznek-e nano, mikro repedések, ha $\frac{w_0}{L_{b,0}} \cong \frac{w_i}{L_{b,i}}$, akkor az „ i ” teherismétlésig nincs repedés, nincs repedésterjedés, egy ilyen anyagot mutattam be a 15. ábrán.

Felmerül a kérdés, hogy az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálat alkalmas-e a repedezettség közelítő meghatározására. A válasz egyértelmű igen, mivel a komplex modulus felére csökkenése, mint tönkremeneteli mutató viszonylag jól reprezentálja a hiszterézis hurok területének változását.

A komplex modulusnak van egy rendkívüli előnye ez pedig az egyszerű mérhetősége, ha egyébként közelítően érvényes a Hook „törvény”, pl. kis alakváltozások esetén, magasabb hőmérsékleten 400 μm alatt, alacsony hőmérsékleten 100 μm alatt.

Az e-UT 08.02.12:2022 UME „C” forgalmi terhelési osztály felett előírja az MSZ EN 12697-26 IT-CY szerinti 20 °C-on az aszfalt merevség vizsgálatát, ahol a felterhelési idő 124 ms.

A vizsgálat egy kis módosítás után (Zsichla, 2024) összevethető az MSZ EN 12697-24 4PB-PR szerint 20 °C-on és 30 Hz körfrekvencián végzett fáradási vizsgálattal, ill. a kezdeti komplex modulus értékével.

A fűrt mintán végzett MSZ EN 12697-26 IT-CY szerinti 20 °C-on az aszfalt merevség összehasonlítása egy mostani szabványnak megfelelő aszfaltmerevséghez, ha van ilyen, nem célszerű, mivel az összehasonlításból semmilyen megbízható következtetést nem tudunk levonni a fűrt minta repedezettségére, még hátralévő fáradási élettartamára.

A tanulmány során a kémiai potenciált zérus értékre vettem fel, és indokoltan nem számoltam a vizsgálati idő alatti kémiai változásokkal.

Abban az esetben, ha a meglévő útpályaszerkezetből veszünk mintát, akkor az eltelt idő miatt 10-70 év a pályaszerkezeti réteg múltbéli és jelenkori elhelyezkedésének következtében – a múltban kopóréteg, jelenleg lehet harmadik negyedik réteg is – a kötőanyagban kémiai változások, döntően oxidáció történt, ami megváltoztatta az érintett molekula összetételét, szerkezetét és alakját. Ezt a változást gyűjtő fogalomként „öregedésnek” hívjuk, amely megváltoztatja a kötőanyag viselkedését is.

Amikor egy régóta meglévő út-pályaszerkezetből mintát vizsgálunk, akkor tudomásul kell venni a fűrt minta „öregedését”, amin utólag már nem tudunk változtatni. A fűrt minta várható élettartamát, repedezettségét - ami nem feltétlenül látható, nano és mikro repedésekkel teli – a már „öregedett” aszfaltkeverék állapotához tudjuk viszonylag megbízhatóan hasonlítani, ahol feltételezzük, hogy a mintavétel reprezentatív.

Ha a mintát felmelegítjük a kötőanyag keverési hőmérsékletére, valamint ezt követően újra megkeverjük és szabványosan betömörítjük, akkor megkapjuk a már „öregedett” aszfaltkeverék kezdeti állapotát, mint közelítő viszonyítási alapot. Az újrakevert már „öregedett” aszfaltkeverék mintán is elvégezhetjük az MSZ EN 12697-26 IT-CY szerinti 20 °C-on az aszfalt merevség vizsgálatát. A két merevség hányadosa közelítő információt szolgáltat a vizsgált pályaszerkezeti réteg fáradási állapotáról.

Az útpályaszerkezet analóg méretezésénél, figyelembe véve a réteg jelenlegi és méretezés utáni út-pályaszerkezeten belüli helyzetét, a lefutott és a tervezési élettartam során várható egységtengely áthaladást a meglévő út-pályaszerkezeti réteg várható élettartama is jól becsülhető, számítható.

Ha a meglévő és a vizsgált út-pályaszerkezeti réteg várható élettartama nem éri el a tervezett élettartamot, akkor meglévő réteget el kell bontani, vagy úgy kell mértezni a pályaszerkezetet, hogy ez ne következzen be.

A röviden leírt méretezést csak azért tehetjük meg, mivel igazoltam, hogy az aszfaltkeverék tönkremeneteli folyamata a repedések terjedése miatt következik be.

Az aszfaltkeverékek törésének, tönkremenetelének repedések terjedésére visszavezetett igazolt elmélete nemcsak a méretezésre hat, hanem a meglévő felbontott aszfaltkeverékek RAP-ok újrahasznosíthatóságát is igazolja.

8. Következtetések

Igazoltam, hogy az anyagvizsgálati eredményeket csak konzervatív erőterben szabad összehasonlítani, vagyis azonos mérési hőmérsékleten és terhelési frekvencián.

Bizonyítottam, hogy a deviátorfeszültség és a terhelés miatt keletkező fajlagos alakváltozás között nem a Hook „törvény”, hanem a hőtágulás (4.16) és (4.22) biztosít kapcsolatot, ahol a hőtágulás (2.8) az átlagos modell molekulák rezgési amplitúdójának hőmérsékleti függvénye.

A Hook „törvény” jó közelítéssel továbbra is alkalmazható, kis fajlagos alakváltozások és/vagy a vizsgálati hőmérsékleten belül, ha a hőtágulás közel állandó.

Igazoltam, hogy a teherismétlés során bekövetkező komplex modulus, és a szilárdság változását kizárólag az aszfaltkeverékben már a gyártáskor is jelen lévő repedezettség okozza.

Az aszfaltkeverék tönkremeneteli folyamatát az MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálattal kapott vizsgálati eredményekkel is jellemezhetjük.

Az aszfaltkeverék tervezése során nagyobb figyelmet kell fordítani az adhézióra ill. az ITS mérés során kapott kohézióra. Az adhézió és a kohézió közvetve utal az aszfaltkeverék repedezettségére.

Fontos követelmény a repedezettség csökkentése érdekében az aszfaltkeverék tömörségének növelése. A tömörítésnél kerülendő az alacsony nem megfelelő hőmérsékleten tömörítés, amely az aszfaltkeverék azonnali gyors „tönkremenetelét” repedezettségi fokának rendkívüli növekedését okozhatja. Keverésnél továbbra is fontos a kötőanyag alacsony viszkozitását biztosító keverési hőmérséklet megfelelő megválasztása a nagyobb adhézió biztosítása érdekében, ahol az adhézió javítható a keverési idő növelésével is.

Követelményeket kellene meghatározni aszfaltkeverékek alacsony nulla °C hőmérséklet alatti viselkedésre, mivel az aszfaltkeverékek hőtágulása ebben a hőmérsékleti tartományban jelentősen eltér az állandótól. A szakmai „hiedelemtől” eltérően alacsony hőmérsékleten az aszfaltkeverék viselkedése csak igen kis alakváltozások, nagyon korlátozott feltételek esetén követi a Hook „törvényt”.

Az aszfaltkeverékek hideg viselkedésének javítása, a repedésterjedés csökkentésének érdekében meg kell fontolni a több könnyű olajat tartalmazó bitumenek alkalmazását, amit a meleg viselkedés szükségszerű romlása miatt kompenzálni kell szárazon, vagy nedvesen adagolható polimerekkel pl. P2000 és/vagy SBS-el vagy gumival modifikált bitumen.

Alacsony viszkozitású kötőanyagok alkalmazása esetén a bitumentartalom csökkenthető, de az optimális bitumentartalmat az ITS alapján kellene meghatározni.

Ismételten át kell gondolni az SMA típusú kopórétegre vonatkozó követelményeket, amelyeket intenzív igénybevételi kategóriában kötelező alkalmazni, miközben az SMA aszfaltkeverékek ITS hasító-húzó szilárdsága rendkívül alacsony.

Az SMA keverék típusnál a zúzalékváz miatt a repedések sokkal gyorsabban terjednek, mint az AC típusú keveréknél.

Az SMA aszfaltkeverékekre nem szükséges elvégezni a MSZ EN 12697-24 szerint végzett fáradási ellenállás vizsgálatot, ami nem tartható, ha azt akarjuk, hogy autópályáink kopóréteg tartós maradjon.

Kis forgalmi terhelésű utakon, főleg az önkormányzati utakon célszerű használni a kis viszkozitású bitumeneket.

Irodalomjegyzék

Antus, S. & Mátyus, P., 2014. Szerves Kémiai Alapismeretek 1.. p. 88.

Boltzmann, L., 1877. Sitzungberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissen Classe, pp. 373-435.

Boughalmi, R. és mtsai., 2006. Molecular Analysis of the Mechanical Behavior of Plasticized Amorphous Polymer. Oil & Gas Science and Technology, pp. 725-733.

Griffith, A. A. & Taylor, I., 1920. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids, hely nélkül.: <https://royalsocietypublishing.org>,

Hajdú, J., 2008. Korrespondencia-elv, diszperzióelmélet és egy pár kézenfekvő ötlet. Fizikai Szemle, pp. 121-125.

Hamilton, W., 1834. On a General Method in Dynamics. Philosophical Transactions of the Royal Society, pp. 247-308.

Heisenberg, W., 1927. "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik". Zeitschrift für Physik, pp. 172-198.

Hook, R., 1687. De Potentia Restitutiva vagy Spring. Explaining the Power of Springing Bodies. London: ismeretlen szerző

Hopkinson, B. & Williams, T., 1912. The Elastic Histeresisi of Steel, hely nélkül.: ismeretlen szerző

Hopman, P., K. P. & Pronk, A., 1989. A renewed interpretation method for fatigue measurement, verification of Miner's rule.. Madrid, 4th Eurobitume Symposium, pp. 557-561.

Jones, J., 1924. On the Determination of Molecular Fields. Cambridge: ismeretlen szerző

Keszi, E., 2015. A reakciókinetika alapjai. p. 12.

Maggiore, C. és mtsai., 2013. Fatigue resistance: is it possible having a unique response ?, <https://hal.science/hal-00851128v1>: ismeretlen szerző

Mamlouk, M., Witzak, M. W., Kaloush, K. & Hasen, N., 2005. Determination of Thermal Properties of Asphalt Mixture. Journal of Testing and Evaluation, 33. kötet.

Mandula, J. & Olexa, T., 2017. High temperature impact on fatigue life of asphalt mixture in Slovakia. Materials Science and Engineering.

Mata, R., Zhanabekova, T., Obenchan, D. & Shun, M., 2024. Dispersion Control over Molecule Cohesion: Exploiting and Dissecting the Tipping Power of Aromatic Rings. Accounts of Chemical Research, 57. kötet, pp. 1077-1086.

Movahedi, A., Liu, L. & Keller, T., 2024. A novel fatigue life prediction methodology based on energy dissipation in viscoelastic materials, synergistic effects of stress level, stress ratio, and temperature. International Journal of Fatigue 184. 36

Nemesdy, E., 1986. Az aszfaltok anyagminőségét befolyásoló tényezők komplex laboratóriumi vizsgálat, Budapest: Budapesti Műszaki Egyetem.

Rice, J. R., 1968. A path independent integral and the approximate analysis of strain concentrations by notches and cracks.. J. of Applied Mechanics, pp. 379-386.

Schafer, T., Irmeler, A., Gallo, A. & Grüneis, A., 2024. Understanding Discrepancies of Wavefunction Theories for Large Molecules. Physics Chem.

Scherius, P. J. G., 2012. Fracture Mechanics. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.

Szvoboda, K. & Zsichla, L., 2024. Az aszfaltkeveréktervezésén belül a keverék-szilárdságot befolyásoló tényezők elemzése. Az Aszfalt, pp. 32-46.

Török, J., Orosz, L. & Unger, T., 2014. Elméleti Fizika 1.. p. 38.

van der Wals, J., 1873. Continuity of the Gaseous and Liquid State of Mater.

Wu, H., Huang, B. & Shu, X., 2013. Characterizing Fatigue Behavior of Asphalt Mixtures Utilizing Loaded Whell Tester. Juurnal of Materials in Civil Engineering..

Yoo, J. & Al-Qadi, I., 2010. A strain-controlled hot-mix asphalt fatigue model considering low and high cycles. International Journal of Pavement Engineering, pp. 565-574.

Zhao, Y., Jiang, J., Dai, Y. & Ni, F., 2020. Thermal Property Evaluation of Porous Asphalt Concrte Based on Heterogeneous Meso-Structure Finite Element Simulation. MDPI.

Zsichla, L., 1997. Aszfaltok komplex fáradási élettartamának meghatározása egyszerűsített módszerrel. Budapest: Főpolgármesteri Hivatal.

Zsichla, L., 2024. Az aszfaltkeverék szilárdságának jelentősége a méretezésben és mérésének lehetőségei. Az Aszfalt, június, 1. kötet, pp. 15-24.

Zsichla, L., 2024. Az aszfaltkeverékek tulajdonságainak hőmérsékletfüggése a termodinamika törvényei alapján. Útügyi Lapok, november.

Habosított- és újrahasznosított gumibitumenes aszfaltok és a hazai gumibitumen elmúlt 12 éve

Dr. Geiger András

Bitumen minőségi szakértő
MOL Nyrt.



Dr. Skronka Gábor

Senior specialista-
Minőségbiztosítás
TPA HU Kft



1. Bevezető

A gumibitumen-technológia a használt gumiabroncsok újrahasznosításán alapul, amelyeket apró szemcsékre darálnak és bitumenbe kevernek, majd az így gyártott kötőanyag felhasználásával készült aszfalttal tartós útburkolatokat hoznak létre. A gumibitumen modern alkalmazása az aszfaltburkolatokban az 1960-as évek elején kezdődött. Charles McDonald, Phoenix város anyagmérnöke, kifejlesztett egy rugalmas gumiőrleménnyel módosított kötőanyagot aszfaltutak felületi javításához. Azóta a gumibitumen világ számos részén elterjedt, nem csak felületi bevonatok, hanem aszfaltkeverékek gyártásánál is alternatívát kínálva a polimermodifikált bitumenekkel szemben [FHWA, 2014].

A gumibitumen és felhasználásával gyártott aszfalt tartósságát az adja, hogy a gumiabroncsból származó finomra őrölt gumiőrlemény (általában 0,125–1,5 mm szemcseméretűek) komplex hatást fejtenek ki a bitumen mátrixban. Amennyiben megfelelő módon történik a gumiőrlemény és bitumen összekeverése, akkor a gumiőrlemény nem inaktív

anyagként (töltőanyagként) viselkedik, hanem a gumi különböző komponenseinek aktív modifikáló hatása jelentkezik a bitumenben [Geiger, et al., 2012, Wang, et al, 2019]. A gumi összetevők nemcsak mechanikailag, hanem kémiai-lag is módosítják az aszfalt viselkedését [Geiger, et al., 2012, Tóth, et al., 2016, Almássy, et al., 2021]

A gumiőrlemény elasztomer komponensei fokozzák a bitumen rugalmasságát, így az alacsony hőmérsékleten sem válik rideggé, repedésállósága javul. A korom a gumiabroncsok egyik fő erősítő összetevője, amely hozzájárul a gumi-keverék kopásállóságához és UV-állóságához. A korom diszperziója a bitumenben növeli az aszfalt ellenállását az öregedési hatásokkal szemben, különösen az oxidációs folyamatok lassítása révén. A gumigyártáshoz használt olajok, gyanták, lágyítók és egyéb vegyületek kedvezően befolyásolják a keverék rugalmasságát, fáradási karakterét és hőmérsékletfüggő viselkedését [Buttlar & Rath, 2021].

Király Ákos

Területi vezető
TPA HU Kft



2. Gumival modifikált bitumen (GMB) felhasználás Magyarországon

A MOL a Pannon Egyetemmel együtt kifejlesztett és szabadalmaztatott [Bíró, et al., 2005] útépitéshez használható gumibitumen termékét a Zalai Finomító 2012-ben kezdte gyártani az 5000 t/év kapacitású üzemében, kereskedelmi forgalomba gumival modifikált bitumen (GMB 45/80-55) néven került, 2020-tól pedig egy új, 20 000 t/év kapacitású üzem működik szintén a Zalai Finomítóban. Máig mintegy 130 útépitési és/vagy felújítási projektnél, összesen közel 200 km hosszú szakaszon alkalmazták a terméket Magyarországon. Külföldön Romániában, Horvátországban, Szlovéniában és Oroszországban egyaránt történt útépités a MOL GMB felhasználásával. Az elmúlt 12 év tapasztalatai azt igazolják, hogy a GMB aszfaltgyártási felhasználása kiváló lehetőség arra, hogy jobb minőségű, tartósabb és kisebb fenntartási költségű utak épüljenek. Ez a lehetőség ma annak ellenére nincs kihasználva, hogy alkalmazása előnyt jelenthet az építető, kivitelező (tartósság, PMB-hez képest kisebb bekerülési költség) és az úthasználóknál egyaránt (jobb minőség, utazási komfort, stb.). Meg kell említeni a hulladék eredetű gumiőrlemény ilyen jellegű felhasználásának társadalmi, környezetvédelmi, kisebb karbon lábnyomban jelentkező hasznosságát is.

2.1. Kezdeti eredmények összegzése

Már a kezdeti bitumen reológiai vizsgálatok is azt igazolták, hogy a GMB 45/80-55 termék minősége az 50/70 útépitési bitumen minőségét lényegesen meghaladja, gyakorlatilag a polimerrel modifikált bitumenekkel (PMB) azonos teljesítményszinttel rendelkeznek. A MOL saját vizsgálatai után a Magyar Közút Nonprofit Zrt. veszprémi laboratóriumának bitumen vizsgálati eredményei szintén igazolták az alábbiakat:

- A reológiai vizsgálatok alapján a **GMB a dinamikus terheléssel szemben hasonló ellenállást mutat mint a PMB 25/55-65** (magas burkolat hőmérsékletű viselkedés).
- A **fáradási tönkremenetelnek jobban ellenáll** (közepes burkolat hőmérsékletű viselkedés).
- **Termikus repedések kialakulását tekintve szintén jobban viselkedik** (alacsony burkolat hőmérsékletű viselkedés).

A bitumenvizsgálatok eredményeit követően már a kezdeti aszfalt tesztek eredményei [BME, 2008, Almássy, et al., 2010] is arra hívták fel a figyelmet, hogy a GMB útépitési célú alkalmazásában nagy lehetőség rejlik. A különböző bitumen laborok által igazolt kedvező eredmények ellenére, meglévő útépitési tapasztalatok hiányában a GMB eleinte az 50/70 útépitési bitumen alternatívájaként került felhasználásra AC típusú aszfaltokban, elsősorban kopó illetve kötőrétegben, esetenként alaprégben is. 2013-ban Jász-Nagykun-Szolnok megyében a 3121. sz. út 11+588 - 20+003 km szakaszán, mintegy 8,4 km-en, a Duna Aszfalt kopóréteg cserét végzett. A beépített AC 11 aszfaltkeverék GMB kötőanyaggal került legyártásra. Ebből az időszakból az egyik legjelentősebb útépitési projekt a **Villány Elkerülő út építése volt 2014-ben**, új nyomvonalon, 4,3 km hosszban, ahol mindhárom aszfaltretegben

(AC 11 kopó (F), AC 22 kötő (F), AC 32 alap (F)) GMB-t használt a STRABAG, összesen 910 t mennyiségben. Egy másik jelentősebb munka a Budapestre be- illetve onnan kivezető M1-M7 folytatásaként a *Budaörsi út* felújítása volt. A Pannonhalmi út és Villányi út közti 1,9 km hosszú szakaszon a COLAS 41 180 m²-en hajtott végre felújítást 2015-ben AC 11 kopó illetve AC 22 kötő réteg építéssel. A kopórétegnél 10%, a kötőréteg aszfalt gyártásnál pedig 15% mart aszfalt (nem GMB tartalmú) került felhasználásra. Az aszfaltgyártási és beépítési tapasztalatok, vizsgálati eredmények és aszfaltminőségek mindhárom projekt esetén igazolták az elvárásokat, amelyek a 2014., 2015. és 2016. évi HAPA konferencián és az Aszfalt c. lap kiadásában [Geiger, et al., 2014., Király, et al., 2015, Geiger & Balogh, 2016] bemutatásra is kerültek.

2.2. Szabályozási környezet, további lehetőségek

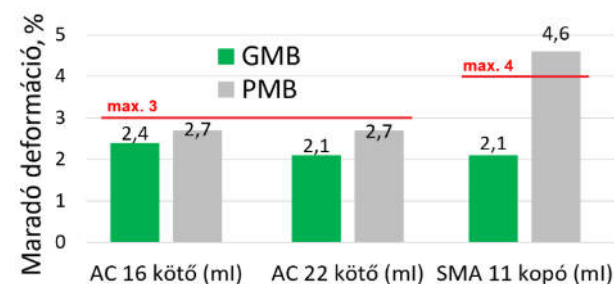
A bitumen laboratóriumi eredmények mellett az egyre növekvő számú aszfaltgyártási, útépitési tapasztalatok és aszfalt vizsgálati eredmények szintén azt igazolták, hogy a GMB-vel gyártott aszfaltok a normál útépitési bitumenekkel gyártott aszfaltok minőségét jelentősen meghaladják, a PMB tartalmú aszfaltok minőségét is megközelítik, egyes paraméterekben azokat túl is teljesítik [Tóth, et al., 2016, Geiger, et al., 2012]. Az *e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei* c. előírás szerint a GMB több aszfalt típusban is alkalmazható, azonban nem használható az AC 16 kötő (mI), AC 22 kötő (mI) és SMA típusú aszfaltokban, ezeknél csak PMB termékek jöhetnek szóba kötőanyagként.

2.3. Aszfaltvizsgálati eredmények, GMB vs. PMB

A GMB-vel gyártott aszfaltok kedvező, a PMB 25/55-65 tartalmú aszfaltok minőségét is elérő tapasztalatai miatt, továbbá azon oknál fogva, hogy az *e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 szerint* a GMB több aszfalt típusban sem használható, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) 2017-2019-ben részletes vizsgálatot végeztek [BME, 2017, BME & KTI, 2019]. A vizsgálatoknak kimondottan az volt a célja, hogy a 2.2 fejezetben említett három aszfalttípust PMB és GMB felhasználásával is előállítsák, majd összehasonlítsák őket. Az Egyetem Út- és Vasútépitési Tanszékén a TPA által PMB 25/55-65 kötőanyagra optimalizált keverékterveit használták fel. A GMB kötőanyagú aszfaltokat tehát úgy állították elő, hogy a PMB-t GMB-re cserélték, minden egyéb paraméter (pl. ásványi anyag minősége, összetétele, kötőanyag tartalom, keverési és próbatest készítése körülmények) azonos volt.

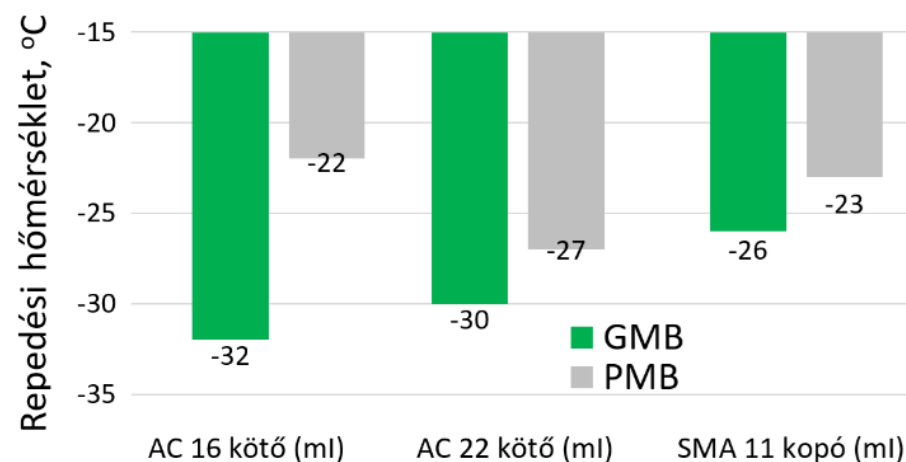
A különböző kötőanyagokkal (GMB 45/80-55 illetve PMB 25/55-65) előállított háromféle aszfaltkeverék magas, közepes és alacsony burkolat hőmérsékleten elvégzett vizsgálatának eredményeit az 1-3. ábra foglalja össze. Az aszfalt típusától függetlenül a GMB felhasználásával minden te-

kintetben hasonló vagy jobb értékeket mértek, mint PMB alkalmazásával. Ki kell emelni a GMB alkalmazásának fáradási ellenállásra gyakorolt különösen kedvező hatását (2. ábra), minden esetben kb. 25%-kal nagyobb értékek adód-



1. ábra GMB és PMB kötőanyagú aszfaltok deformációs ellenállásának összehasonlítása (MSZ EN 12697-22, B-módszer, levegőn, 60°C, 124ms) [BME, 2017]

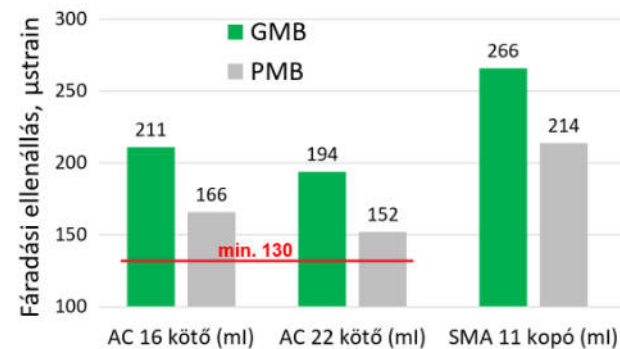
A hazai előírások nem tartalmazznak követelményt az aszfaltok alacsony hőmérsékletű karakterének jellemzésére. A repedési hőmérséklet meghatározása azonban információt ad a bitumenek és aszfaltok ilyen jellegű viselkedéséről is. A szakirodalmi adatokhoz hasonlóan [Kanerva, et.



3. ábra GMB és PMB kötőanyagú aszfaltok repedési hőmérsékletének összehasonlítása (MSZ EN 12697-46) [BME, 2017] PR, 20°C, 30Hz) [BME, 2017]

Mindhárom típusnál elvégezték a merevség vizsgálatokat is. Az e-UT 05.02.11 szerint SMA 11 (ml) esetén nincs előírás a merevségre, az AC 16 kötő (ml) és AC 22 kötő (ml) típusoknál a mért értékek GMB kötőanyag alkalmazása esetén is meghaladták a minimálisan elvárt 4500 MPa értéket (4. ábra). Itt ismét fontos megemlíteni, hogy a GMB kötőanyagú aszfaltok nem GMB-re lettek optimalizálva hanem PMB 25/55-65-re. Aszfaltgyártói, laboratóriumi szakvélemény (pl: TPA) szerint a **minimum 4500 MPa**

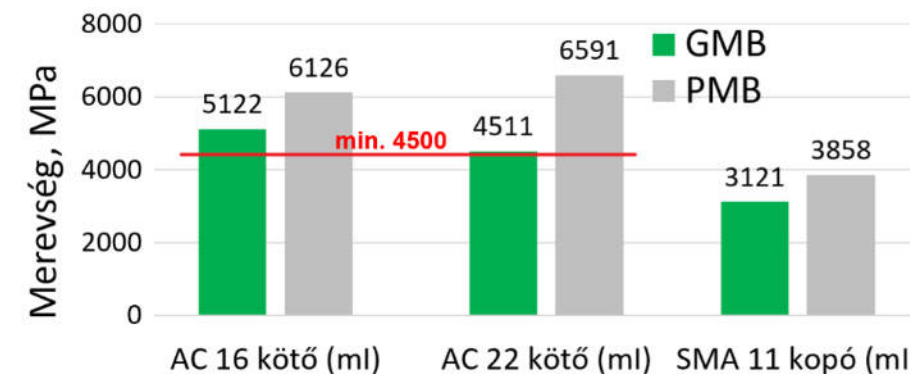
tak, mint a PMB-tartamú aszfaltok esetén. Ugyanakkor az AC típusú aszfaltoknál előírt min. 130 µstrain követelményt minden aszfalttípus teljesítette.



2. ábra GMB és PMB kötőanyagú aszfaltok fáradási ellenállásának összehasonlítása (MSZ EN 12697-24, 4 PB-PR, 20°C, 30Hz) [BME, 2017]

al, 1994, Zareh & Way, 2006] a MOL GMB termékével gyártott aszfaltok minden esetben kedvezőbb (kisebb) repedési hőmérséklettel jellemezhetők, mint a PMB-tartalmú aszfaltok (3. ábra).

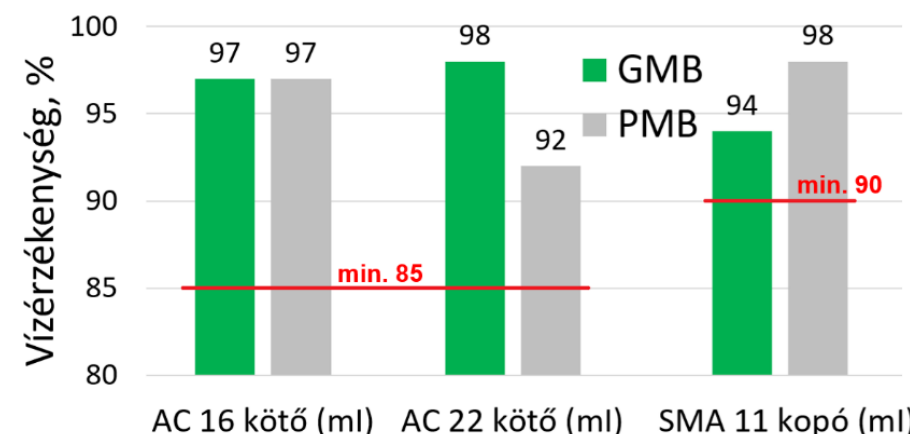
merevség érték biztonsággal tartható, sőt ennél magasabb érték is elérhető, ha ez a cél a keverékösszetétel optimalizálásánál. Azt is ki kell emelni, hogy a MOL gumibitumen fejlesztésének egyik sarkalatos pontja éppen az volt, hogy a GMB termék a meglévő aszfaltkeverék receptúrák módosítása nélkül alkalmazható legyen. A bemutatott SMA 11 kopó (ml), AC 16 kötő (ml) és AC 22 kötő (ml) keverékek gyártási tapasztalatai és vizsgálati eredményei ezt igazolták is.



4. ábra GMB és PMB kötőanyagú aszfaltok merevségének összehasonlítása (MSZ EN 12697-26 IT-CY, 20°C, 124ms) [BME, 2017].

Az aszfaltutak tartósságában döntő szerepet játszik a bitumen és közet közti tapadóerő, adhézió. A víznek nagyobb az affinitása a közethez, mint a bitumennek, ezért a közet nem megfelelő bitumen-bevontsága vagy nem megfelelő bitumen-közet adhézió esetén a víz képes a közetet bevonó bitumenfilm és közet közé hatolni, a bitument „leszorítani” a közetről (bitumenleválás jelensége), ami az aszfalt integritásvesztését majd tönkremenetelét eredményezi

[Curtis, at al., 1993, Geiger & Holló, 2010]. Emiatt az aszfalt tartóssága szempontjából a vízerzékenységnek kritikus szerepe van. A BME a már bemutatott SMA 11 (ml), AC 16 kötő (ml) és AC 22 kötő (ml) keverékek alkalmazásával elvégezte a vízerzékenységi vizsgálatokat is, melynek eredményeit a 5. ábra foglalja össze. Mindkét kötőanyag esetén teljesült az előírás (AC: min. 85%, SMA: min. 90%).



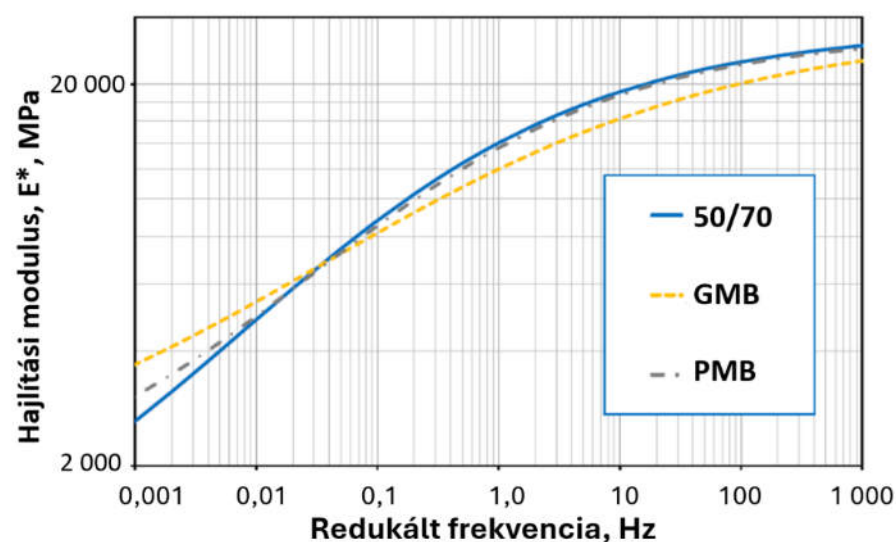
5. ábra GMB és PMB kötőanyagú aszfaltok vízerzékenységének összehasonlítása (MSZ EN 12697-12, ITSR, 2x35 ütés, 15oC) [BME, 2017].

Számos további összehasonlítás és vizsgálati eredmény közül a hatodik Euroasphalt & Eurobitume Kongresszuson 2016-ban bemutatott GMB-eredményeket érdemes kiemelni [Tóth, et al., 2016]. A GMB-vel a PMB-hez képest jobb hidegoldali viselkedésű, nyomványosodással szemben ellenállóbb aszfaltkeverék volt előállítható. Széles terhelési frekvencia- illetve annak megfelelően széles hőmérséklet tartományban jól mutatták a különböző kötőanyag tartalmú AC 11 aszfaltok eltérő viselkedését a dinamikus modulus mestergörbék (6. ábra) is. A **GMB-tartalmú aszfalt hőmérséklet- és terhelésérzékenysége kisebb, mint az**

50/70 és PMB tartalmú aszfaltoké:

- alacsony frekvenciánál (illetve ennek megfelelően magas hőmérsékleten) a modulusok a GMB tartalmú AC 11 aszfaltnál voltak a legnagyobbak,
- magas frekvenciaértékeken (illetve az ennek megfelelően alacsony hőmérsékleten) a modulusok a GMB tartalmú AC 11 aszfaltnál voltak a legkisebbek, azaz a legkedvezőbbek.

Ezek az eredmények összhangban vannak az 1-3. ábrán bemutatott, az ittenitől azonban eltérő aszfalttípusok eredményeivel.



6. ábra Különböző bitumentartalmú AC 11 kopórétegi aszfaltok dinamikus modulus mestergörbéi [Tóth, et al., 2016]

2.4. Gyorsforgalmi utakhoz kapcsolódó vizsgálati eredmények

A GMB alkalmazásával elért eredmények, különösen az SMA 11 kopó (mI), AC 16 kötő (mI) és AC 22 kötő (mI) aszfalttípusoknál, megalapozták azt, hogy a hazai gyorsforgalmi úthálózaton is tesztelésre kerüljön a GMB. Az elmúlt években az alábbi gyorsforgalmi utakon történtek tesztszakasz építések GMB felhasználásával, minden esetben pozitív tapasztalatokkal:

- M25 (2 x 2 km szakasz, SMA 11 kopó, AC 22 kötő, AC 22 kötő alaprétégként), 2019
- M76 (2 x 5,6 km szakasz, AC 22 kötő), 2020
- M30 (2 x 2 km szakasz, SMA 11 kopó), 2021
- M83 (2 x 36 km szakasz, AC 22 kötő, AC 22 kötő alaprétégként, 15-15% PMB-tartalmú visszanyert aszfalttal mindkét rétegben) 2022-2023

A nagy volumenű GMB-t alkalmazó projektek azt is igazolták, hogy a technológiai fegyelem szigorú betartásával, megfelelő logisztikai ütemezéssel a kötőanyag alkalmazása problémamentes.

Az M25 és M76 gyorsforgalmú utak GMB-vel és PMB-vel épített szakaszai jól összehasonlíthatók, mivel mindkét

helyen azonos időben épültek a különböző kötőanyagú szakaszok (M25 2019-ben, M76 2020-ban), továbbá azonos forgalmi terheléssel jellemezhetők azok. Az M25 esetén a 2x2 km tesztszakaszon a kopó, kötő és alaprétég is GMB-tartalmú aszfaltokkal épült, míg az M76 esetén csak a kötőréteg aszfalt tartalmazott GMB-t, a többi réteg PMB 25/55-65-öt. 2023-ban a BME összehasonlító vizsgálatokat végzett az akkor 4 éves M25 és 3 éves M76 szakaszain [BME, 2023]:

- A KUAB behajlás mérések kedvező eredményeket adtak mindkét kötőanyag esetén az **M25 és M76 vizsgálatok** egyaránt, a mért statikus behajlások értékei 0,016-0,030 mm tartományba estek. Az eredményekből a pályaszerkezet hosszú élettartamára lehet következtetni mindkét bitumen típusnál.
- Az M25-ön merevség és fajlagos nyommélység mérés is történt, a GMB-vel épített szakaszon kettő, míg a referencia (PMB) szakaszon egy helyen. A vizsgálatok eredményeit az 1. táblázat mutatja be. Az eredmények szerint a GMB-felhasználással épített szakaszok a PMB felhasználásával épített rétegekkel egyenértékűek, sőt kissé kedvezőbb eredményeket adtak.

1. táblázat Az M25-höz kapcsolódó aszfaltvizsgálati eredmények

Szelvény	Kötőanyag	Merevség*	Fajlagos nyommélység, PRD%		
			Kopó**	Kötő**	Alap**
11+000 km jobb haladó	GMB	5452 MPa	2,53	1,82	2,17
12+033 km jobb haladó	GMB	4153 MPa	2,61	1,88	1,88
13+000 km jobb haladó (ref.)	PMB	4097 MPa	3,28	1,42	2,20

*Merevség mérés a kopórétegből vett mintán

**Aszfaltrétegek: SMA 11 kopó, AC 22 kötő, AC 22 kötő alaprétégként

2.5. GMB-vel épített utak további felülvizsgálati eredményei

A MOL megbízásából a BME és a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. az elmúlt 12 évben többször is felülvizsgálta a GMB felhasználásával épített aszfaltutak egy részét [KTI, 2013, BME & KTI, 2019, KTI, 2021, BME, 2023, KTI, 2023]. Legutóbb 2023-ban készült ilyen vizsgálat [BME, 2023, KTI, 2023], 28 különböző, akkor 4-11 éves útszakaszon, továbbá a vizsgálatokba bevontak 2006-ban és 2007-ben, a termék- és technológiafejlesztés során kísérleti jelleggel gyártott, GMB felhasználásával épített utakat is. A két intézet főbb megállapításai a felülvizsgálatok után az alábbiak:

- A **GMB** felhasználással épített útszakaszok tapasztalt **leromlási sebessége**, kortól függetlenül mind kis-, közepes és nagy forgalmú utakon az esetek döntő többségében, az országos átlagnál, illetve az esetenként rendelkezésre álló **referenciaszakaszokénál jelentősen kedvezőbbnek bizonyult.**

2. táblázat A 7410 sz. úthoz kapcsolódó aszfaltvizsgálati eredmények

Kötőanyag	Merevség*	Fajlagos nyommélység, PRD%	
		Kopó**	Kötő**
GMB	3908 MPa	1,95	4,23
PMB	4591 MPa	2,02	4,73

*Merevség mérés a kopórétegből vett mintán

**Aszfaltrétegek: AC 16 kopó (mF), AC 11 kötő (mF)

2.6. GMB-kötőanyagú aszfaltrétegek pályaszerkezet méretezési kérdései

GMB 45/80-55, PMB 25/55-65, 50/70 bitumenek alkalmazásával gyártott aszfaltok műszaki paramétereit felhasználva (elsősorban fáradási karakter és merevség) **méretezési összehasonlítások** is történtek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszékén BISAR és WESLA programokkal [BME & KTI, 2019, Almássy, et al., 2021]. A három vizsgált esetben közös volt, hogy azonos földmű szerkezetet és azonos, 4 cm vastagságú aszfalt kopóréteget vettek figyelembe. Azt határozták meg, hogy három egyenértékű aszfalt pályaszerkezet eléréséhez a kötőanyag típusától függően milyen rétegvastagságban kell a kopó- és az alaprétég közé aszfaltot beépíteni. Két esetet vizsgáltak: folytonos szemeloszlású zúzott kő (FZKA) alaprétég, illetve hidraulikus kötésű stabilizációs (CKT) alsó alaprétég:

- Földmű + 25 cm FZKA: 50/70 bitument tartalmazó aszfaltkeverék esetén a 10⁶ db egységtengely áthaladási számhoz 26,5 cm-nyi vastagságú aszfaltrétég beépítése szükséges, míg a GMB és PMB esetén 18,5 cm rétegvastagság elegendő. Azaz **8 cm (30%) aszfaltmegtakarítás érhető el mindkét modifikált termék esetén.**
- Földmű + 20 cm CKT: az 50/70 bitument tartalmazó aszfaltrétég szintén vastagabb (4-5 cm-rel), mint a GMB vagy PMB felhasználásával beépített réteg. A GMB-vel gyártott aszfaltrétég vastagsága 15 cm, míg PMB-vel

- Mindegyik forgalmi és kor kategóriában a GMB kötőanyagú kopórétegek felületén **a makroérdesség** értéke az országos átlagnál **kedvezőbbnek bizonyult.**
- 2021-ben és 2023-ban angol ingás készülék alkalmazásával, a kísérleti és a referenciaszakaszok útpályáján mérhető **csúszásellenállás a vizsgált esetek több, mint 90%-ában kedvező** vagy pedig rendkívül kedvező értéknek bizonyult. (Kedvezőnek 55 és 65 közötti, rendkívül kedvezőnek pedig a 65-öt meghaladó SRT-érték tekinthető).
- A 7410 sz., közepes terheléssel jellemezhető út 1 km-es szakaszán kopó- és kötőréteg csere történt 2012-ben. 500 m szakaszon GMB-vel, a másik 500 m-en pedig PMB 25/55-65-tel kevert aszfaltok kerültek beépítésre. Itt szintén jól összehasonlítható a kétféle kötőanyaggal épített utak teljesítménye. A 2023-ban 11 éves szakaszokon végzett merevség és nyommélység vizsgálatok eredményeit a 2. táblázat foglalja össze.

gyártott rétegé 16,5 cm-re adódik. **A GMB-vel tehát kb. 9% aszfaltmennyiség takarítható meg egyenértékű (azonos teljesítményű) aszfalt pályaszerkezet elérése esetén a PMB-hez képest.** A GMB esetén megtakarítható rétegvastagság alapvetően a GMB-tartalmú aszfaltok kiváló fáradási ellenállásának tulajdoníthatók.

2.7. Következtetések, javaslat

Az elmúlt 12 évben GMB felhasználásával gyártott aszfaltok és belőlük épített utak minősége, felülvizsgálati eredményei, gyártói tapasztalatai egyértelműen bizonyították, hogy a GMB nem csupán megközelíti, hanem eléri, egyes minőségi paraméterekben pedig felül is múlja a PMB tartalmú aszfaltokat. Ezek a megállapítások azon aszfalt típusokra is helytállóak, ahol a GMB egyelőre nem alkalmazható. **A GMB tehát az SMA (mI) és AC (mI) típusú aszfaltok esetén is alkalmas kötőanyag, használatát a szabályozás is lehetővé kell tegye.** Bár szigorú előírások jelenleg nem köteleznek, de a tendencia egyértelmű: a karbonlábnyom csökkentést, alapanyagforrásokkal való takarékoskodást is figyelembe kell vennünk, ha valóban tenni akarunk az élhetőbb jövőért. Ez az útépitésre is igaz, és a kémiaiilag stabilizált gumibitumenre nézve nagy potenciált rejt. E tekintetben a hulladék alapú gumiörlemény ilyen módon történő felhasználása és értékteremtő képessége szintén jelentőséggel kell bírjon a jövőben.

3. GMB-tartalmú mart aszfaltok felhasználása, meleg (HMA) és mérsékltlen meleg (WMA) aszfaltokban. TPA – MOL – STRABAG – Magyar Közút K+F együttműködés

A GMB tartalmú felmart aszfaltok újrahasznosítási lehetőségére korábban még nem volt vizsgálat. A TPA, MOL, Strabag és Magyar Közút együttműködésével 2024 őszén megvalósult fejlesztési projekt célja éppen az volt, hogy az ilyen újrahasználat lehetőségét megvizsgálja. Az elvégzett munka során a felmart, GMB tartalmú aszfalt meleg és félmeleg (HMA és WMA) aszfaltkeverékben való alkalmazhatósága is igazolást nyert. Mindazonáltal az ilyen irányú tapasztalatok teljesen újak, ezt a kérdéskört mutatja be a 3. fejezet.

3.1. Előzmények

A STRABAG és a TPA már a MOL GMB gyártásának kezdetétől (2012) részt vesz a gumibitumennel épült pályaszerkezetek és utak kivitelezésében. A pozitív tapasztalatok mellett gyakran merültek fel kérdések és fogalmazódtak meg aggályok is.

- A gumibitumennel készült aszfaltok újrahasznosíthatók-e mart aszfaltként?
- A környezettudatosság és fenntarthatóság jegyében habosítható-e a gumibitumen?
- Készíthető-e habosított gumibitumennel aszfaltkeverék gumibitumenes mart aszfalt visszaadagolása mellett?
- Keletkeznek-e káros gázok vagy gőzök a gyártás során, és ha igen, milyen mennyiségben?

Annak érdekében, hogy a fenti kérdésekre válaszokat kapjunk, olyan útszakaszt kerestünk, ahol a gumibitumenes aszfaltok már legalább 10 éve használatban vannak. Így esett a választás a Villány Elkerülő útra. A Villány települést elkerülő út 4,3 km hosszban, új nyomvonalon épült, 2x1 sávos forgalmi paraméterekkel. Ezen az új nyomvonalú úton alkalmazták először az országban gumibitumenes aszfaltkeveréket minden pályaszerkezeti rétegben, amely a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium támogatásával valósult meg, és 2014. október 3-án került átadásra [ÉKM, 2015].



7. ábra A készanyagtaroló alatti mintavételi pont

3.2. Projekttervezet

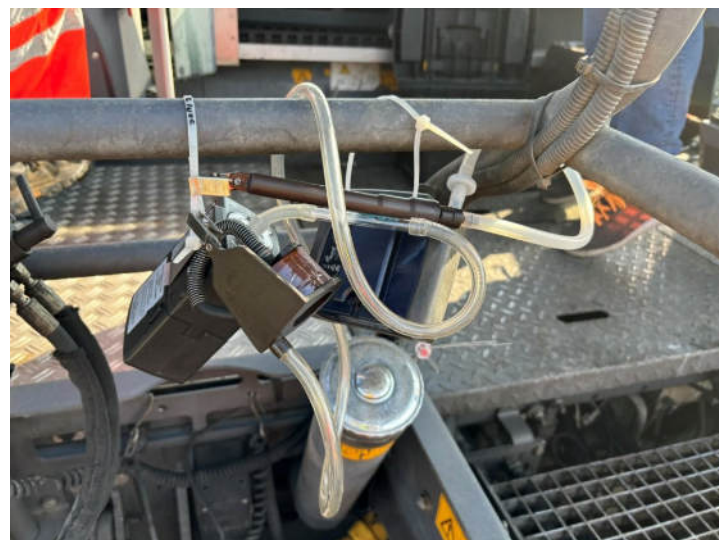
A Magyar Közút Kísérleti út- és hídépítési munkái közé benyújtottuk a témajavaslatunkat, melyben a Villányt elkerülő úton az alábbi útépítési tervre kértünk engedélyt és műszaki támogatást, azonban a kivitelezés költségeivel nem terheljük a kísérleti munkák büdzsáját. Az engedélyt megkaptuk négy rövid, 50 méteres próbaszakasz kivitelezésére, ahol 4 cm marást követően az alábbi aszfaltkeverékek beépítése történt meg 2024.09.19-én.

- 4 cm AC 11 kopó (mF) GMB 45/80-55 – HMA, referencia szakasz
- 4 cm AC 11 kopó (mF) GMB 45/80-55 – HMA, + 20% RA_{GMB}
- 4 cm AC 11 kopó (mF) GMB 45/80-55 – WMA, habosítással
- 4 cm AC 11 kopó (mF) GMB 45/80-55 – WMA, habosítással + 20% RA_{GMB}

Az aszfaltkeverékek gyártása során az előző napon felmart gumibitumenes mart aszfalt került felhasználásra, ezt tüntettük fel RA_{GMB} jelöléssel.

3.3. Egészségügyi hatás

A gyártás és beépítés során annak mérésére, hogy milyen mennyiségben keletkeznek káros gázok és gőzök akkreditált alvállalkozót vontunk be. A mérés precíz végrehajtása érdekében levegő mintavevő szivattyúkat szereltünk fel az aszfaltkeverő készanyagtarolójának alja mellé (7. ábra), amerre a teherautók töltése közben száll a füst. A kivitelezés közbeni méréshez az aszfaltterítő gép csigatere fölött alakítottunk ki mintavételi pontokat (8. ábra). Arra voltunk kíváncsiak, hogy mekkora az illékony szerves vegyületek (VOC) és a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) koncentrációja.



8. ábra A csigatér fölött kialakított mintavételi pont

A gázminták összetételének vizsgálati eredményeit az 3. táblázat mutatja be. A gázelemzést végző akkreditált cég IBU-24 631 azonosítójú jelentésének szó szerint idézett megállapításai: “Az eredményekről elmondható, hogy

- Az aszfaltkeverő esetében illékony szerves vegyületeket (VOC) és policiklusos aromás szénhidrogéneket (PAH)

nem mutattunk ki, a koncentrációk alacsonyabbak mint a vizsgálati módszer kimutatási határa.

- Az aszfalt bedolgozása során naftalin, xilolok és izobutilmetil-eton volt kimutatható. A kimutatott anyagok koncentrációja minimális, több nagyságrenddel alacsonyabbak, mint a rendeletben meghatározott határértékek.

3. táblázat Gázkoncentráció mérési eredmények

Vizsgált paraméter	Vizsgálati eredmény [mg/m³]								Határérték [mg/m³]	
	Aszfalt keverés				Aszfalt bedolgozás					
	VMA	HMA	VMA + GMBRA	HMA + GMBRA	VMA	HMA	VMA + GMBRA	HMA + GMBRA	ÁK	CK
PAH	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001	0,002	-	-
Naftalin	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001	0,002	50	-
VOC	<0,3	<0,3	<0,2	<0,2	<0,3	<0,3	<0,2	<0,2	-	-
Xilolok	<0,3	<0,3	<0,2	<0,2	0,4	<0,3	<0,2	<0,2	221	442
Izobutil-metil-eton	<0,3	<0,3	<0,2	<0,2	0,8	0,3	0,3	<0,2	83	208

Jelölések:

WMA = Warm Mix Asphalt (Mérsékleten meleg aszfalt)

HMA= Hot Mix Asphalt (Meleg/forró aszfalt)

RA_{GMB} = GMB tartalmú mart aszfalt

PAH = Polyaromatic Hydrocarbon (poliaromás szénhidrogén)

VOC = Volatile Organic Compound (illékony szerves vegyület)

ÁK = Megengedett átlagos koncentráció, határérték az 5/2020. (II.6.) ITM rendelet szerint

CK = Megengedett csúcs koncentráció, határérték az 5/2020. (II.6.) ITM rendelet szerint

A mérési eredmények további elemzése, azok egymással való összevetése (pl. WMA és HMA összehasonlítás) nem célszerű, ugyanis azok lényegesen kisebbek, mint az előírt határértékek. Így a köztük lévő minimális különbséget a mintavételi pontatlanság és vizsgálati bizonytalanság is okozhatta. Adódik a kérdés, lehetséges-e, hogy ezek a határértékek túl magasak? A vizsgálatot végző laboratórium szakértőivel folytatott konzultáció alapján megállapítható, hogy más iparágak termelőüzemeiben e határértékek betartása is jelentős beruházásokat igényel, miközben e létesítmények megfelelnek a munkavédelmi és egészségügyi előírásoknak.

Az eredmények tehát inkább azt mutatják, hogy jelentősen csökkenthetőek aggodalmaink, melyek a bitumen gőzökkel való kapcsolatban felmerülnek, de meggyőződésünk, hogy a munkatársaink kitettségét mindezek ellenére is folyamatosan csökkenteni, minimalizálni szükséges.

3.4. Kivitelezés és gyártási tapasztalatok

Tudomásunk szerint a világon elsőként alkalmaztunk habosítós technológiával hőmérséklet csökkentett aszfalt-

gyártást gumibitumen felhasználásával. Gyártottunk normál hőmérsékletű GMB kötőanyagú keveréket is, mint referencia keveréket, illetve normál és hőmérséklet csökkentett, 16RA0/11 típusú újrahasznosított mart aszfaltot 20%-ban tartalmazó keveréket, hideg visszaadagolással.

A gyártás során a HMA-k esetében 180 °C környékére, a WMA-k esetében 160 °C környékére terveztük a kész keverékek hőmérsékletét. A rövid próbaszakaszok igényelte kis mennyiségű, egy típusba tartozó keverékek miatt azonban nem minden esetben sikerült maradéktalanul teljesíteni ezeket a hőmérsékleti célkitűzéseket (4. táblázat). A gyártás során a hidegtől mentünk az egyre melegebb köanyagot igénylő keverékek felé, azonban a keverőgép indításához szükséges magasabb hőmérséklet befolyást gyakorolt a hőmérséklet csökkentett keverékek hőmérsékletére, ezért itt nem sikerült a hőmérséklet mérséklését olyan mértékben elérni, ahogy azt elterveztük. A gyártás során máskülönben nem tapasztaltunk semmilyen rendellenességet, a habosított keverékek is megfelelő bevontsággal és egyenletes gyártási minőségben készültek el.

A keverékek aszfaltvizsgálati eredményei részletesen 4.3 pont alatt találhatóak meg.

4. táblázat Gyártási hőmérsékletek

	WMA	HMA	WMA+ 20%RA _{GMB}	HMA+ 20%RA _{GMB}
Tervezett gyártási hőfok	145-190 °C	175-190 °C	145-190 °C	175-190 °C
Megvalósult gyártási hőfok átlag	187 °C	198 °C	166 °C	179 °C

3.5. Kivitelezés és beépítési tapasztalatok

A Villány melletti elkerülő utat 2024. szeptember 17-én kaptuk meg a kivitelezés lefolytatására és még aznap felmártuk a próbaszakaszt az előre eltervezettnak megfelelően. A marás után a felületet mosással és sepréssel tisztítottuk meg, és bitumenemulziós kellősitéssel készítettük elő a kopóréteg fogadására (9. ábra). A keresztcsatlakozások vágással kerültek kialakításra.

A beépítésre 2024. szeptember 19-én, derült időben, száraz körülmények között került sor. A beépítésen jelen voltak a MOL, a Magyar Közút, a STRABAG és a TPA képviselői is. A beépítés során hagyományos Vögele aszfalt-

terítő gépet, és Bomag acélpalástos úthengert alkalmaztunk. A 10. ábra a WMA beépítés során mért 130,2 °C kopóréteg hőmérsékletet mutatja. A hosszcsatlakozásnál végig bitumenes gélt alkalmaztunk a csatlakozás tömítettségének biztosítására. A beépítés során előre nem látott körülmény nem lépett fel, a beépítés és tömörítés probléma nélkül megtörtént. A legyártott aszfaltkeverékből papírdobozokba vettünk mintát, a beépített rétegből pedig fúrással munkáltunk ki próbatesteket. Az utat 2024. szeptember 23-án adtuk át újra a forgalomnak miután a padka is rendezésre került és a burkolati jelek is elkészültek. A burkolat azóta is folyamatosan használatban van.



9. ábra A próbaszakasz bitumen emulzióval takart kötőrétege, 08:30



10. ábra Hőmérséklet csökkentett (WMA) kopóréteg, 09:35

A beépített és betömörített rétegekből mind a négy különböző keverékfajta esetében fűrt mintákat vettünk az MSZ EN 12697-27:2017 4.7 pontja szerint. A fűrt mintákon és a beépített rétegeken az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

- hézagmentes testsűrűség (MSZ EN 12697-5:2019, 9.2)
- testsűrűség (MSZ EN 12697-6:2020, 9.3, B eljárás)
- hézagtartalom (MSZ EN 12697-8:2019)
- rétegvastagság (MSZ EN 12697-36:2022, 6.1)
- tömörségi fok (MSZ EN 12697-9:2003 (visszavont szabvány) 4.1)
- makroérdesség (MSZ EN 13036-1:2010)

Burkolati hézag

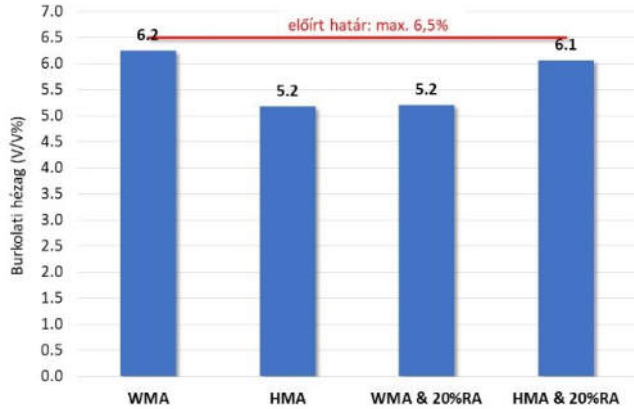
A burkolati hézag tekintetében minden keverék megfelelt a maximális 6,5%-os határértéknek. A beépített rétegek hézagtartalmáról elmondható, hogy a WMA és a HMA & 20%RA keverékek a gyakorlatban a magasabb hőmérsékle-

ten előállított keverékek közé tartoztak, mégis ezek mutatták a legmagasabb burkolati hézagtartalmat, miközben a gyártás és beépítés folyamata az egyes szakaszok tekintetében nem változott. Ezzel szemben a legalacsonyabb hőmérsékleten előállított WMA & 20%RA keverék a HMA keverékkel megegyező burkolati hézagjellemzőket mutatott.

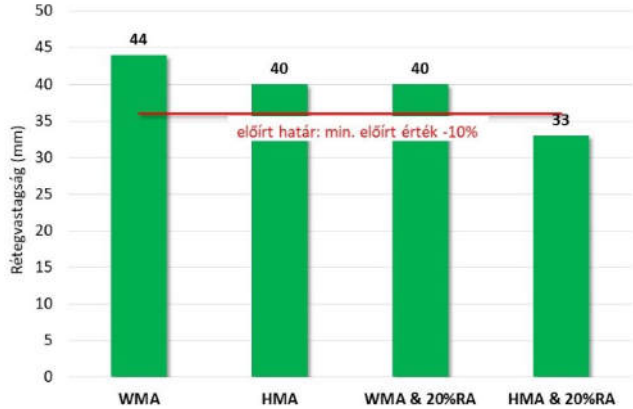
Tömörség

A tömörségi fok minden keveréknél elérte a minimum 97%-os előírt értéket. A legalacsonyabb tömörséget a WMA keverék mutatta, ami kikövetkeztethető a magasabb burkolati hézag eredményekből is, ami viszont már nem érvényes a HMA & 20%RA keverékre, amely tömörsége közel megegyezett a többi keverékével.

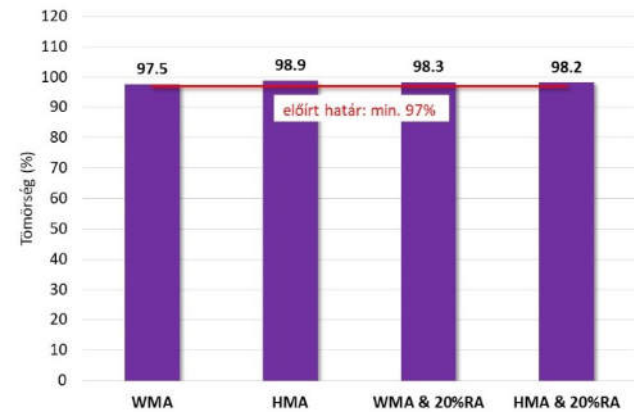
A vizsgálati eredményeket az 11-14. ábrák mutatják be.



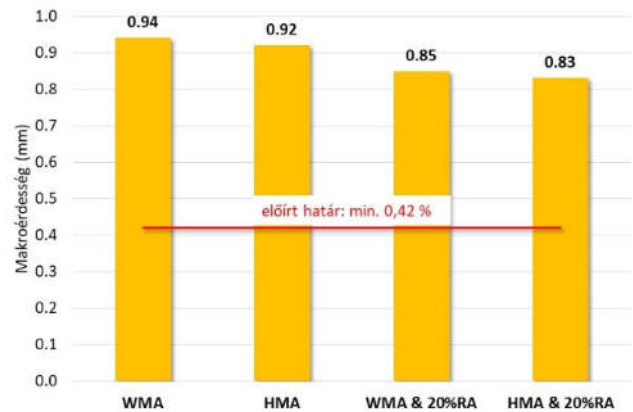
11. ábra A beépített kopóréteg burkolati hézag jellemzői



12. ábra A beépített kopóréteg rétegvastagság eredményei



13. ábra A beépített kopóréteg tömörség eredményei



14. ábra A beépített kopóréteg makroérdesség eredményei

Összefoglalva a beépített rétegek vizsgálati eredményeit, egy 10%-on belüli vastagsági hiányt leszámítva, minden, a rétegre vonatkozó fontos paraméterben sikerült elérni a hatályos előírások elvárásait. A jelzett hiba vélhetően az előkészítés során végzett marás nem megfelelőségéből fakad. A keverékek beépíthetősége megfelelő volt, hagyományos ki-

vitelezési technológiával is. A kivitelezés után a cikk íráskor, már átlépünk a monitoring szakaszba, ahol 5 éven keresztül követjük nyomon a 4 próbaszakasz teljesítményt befolyásoló aszfaltmechanikai paramétereit a felületi jellemzők változása mellett.

4. GMB-tartalmú mart aszfaltok felhasználásához kapcsolódó bitumen- és további aszfaltvizsgálati eredmények

4.1. Kihívások a bitumen visszanyerésnél

Magyarországon jelenleg két hatályban lévő útügyi műszaki előírás (UME) szabályozza a visszanyert aszfaltok felhasználását:

- e-UT 05.02.11/M1:2021 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei
- e-UT 05.02.15:2008 Útépitési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt

Ezek az előírások elsősorban a mart aszfaltból visszanyert bitumen valamilyen formában történő vizsgálatát szabá-

lyozzák, és bár a jelen cikk szerkesztésekor (2025. április) teljes átdolgozás alatt van, a gumibitument tartalmazó mart aszfaltokkal kapcsolatban egyelőre az sem fogalmaz meg konkrét iránymutatásokat.

A gumibitument tartalmazó mart aszfaltok minőségének értékelése nemzetközi szinten is kihívást jelent, mivel a hagyományos bitumen-visszanyerési módszerek nem alkalmazhatók hatékonyan ezekre az anyagokra [Sirin & Tia, 2003; Rice & Harrison, 2021]. Ennek ellenére több megközelítés is létezik az ellenőrzésére:

- **Aszfaltkeverékek teljesítményalapú vizsgálata:** Mivel a gumibitumen közvetlen visszanyerése nehézségekbe

ütközik, a hangsúly az újrahasznosított aszfaltkeverékek teljesítményének értékelésére helyeződik. Ilyen vizsgálatok közé tartoznak a merevségi mérések, a fáradási vizsgálatok és a keréknyomképződési hajlam vizsgálata [Caltrans, 2005, Crockford, et al., 1995].

- **Hagyományos oldószeres extrakció:** Az ilyen esetekben a gumibitumint a mart aszfaltból hagyományos módon, extrakcióval majd forgó bepárló segítségével nyerik vissza ugyanúgy, ahogy azt normál útépitési vagy polimer modifikált bitumenekkel tennék. Az ilyen módon visszanyert bitumen azonban a gumibitumenben lévő gumirészecskék nagy részének hatását nemes egyszerűséggel figyelmen kívül hagyja [Bocci & Prospero, 2023; Pais, et al., 2008].
- **Alternatív oldószeres módszerek:** Bár a hagyományos oldószeres extrakció nem hatékony a gumibitumen esetében, néhány kutatás alternatív oldószereket vagy módszereket vizsgál a bitumen és a gumirészecskék szétválasztására. Ezek a technikák még kísérleti stádiumban vannak és alkalmazhatóságuk korlátozott. Emellett a kutatások kiemelik, hogy az oldószer típusa és a bitumen/gumirészecskék oldatban való tárolási ideje jelentős hatással van a végeredményre [Sirin & Tia, 2003; Rice & Harrison, 2021].

Alternatív extrakciós kísérletet végeztünk a TPA laboratóriumában található extrahálóberendezéssel, amely a gumirészecskék okozta eldugulás elkerülése érdekében képes a gumibitumenes aszfaltban található gumirészecskék bizonyos fokú különválasztására. Tapasztalataink szerint azonban ez csak korlátozott mértékben volt megvalósítható, mivel a gumirészecskék egy része fennakadt a szűrőn vagy a szűrőpapíron (15. ábra). A különválasztott gumiszemcsék mennyisége így nem teljes, emellett bizonyos százalékban adalékanyaggal szennyezett, amely feltehetően az oldószer felületére felülő gumirészecskékhez tapadva kerül a különválasztott szemcsék közé.

A kísérletek eredményei egyértelműen azt mutatják, hogy extrahálással és bepárlással nem lehet hatékonyan visszanyerni a gumibitumint. Ha a gumibitumenes aszfaltokat az életciklusuk előrehaladtával a jövőben nagyobb mennyiségben és gazdaságosan kívánjuk újra használni, illetve ennek szabályozási hátterét is megoldani, akkor a fentiek értelmében érdemes lenne az aszfaltkeverék minőségét (teljesítményét) alapul venni. Ezt figyelembe véve lenne célszerű szabályozni a vonatkozó ÚME előírásban a gumibitumenes mart aszfaltok újrahasznosítását.



15. ábra A szűrőkre tapadt gumiörlemény részecskék



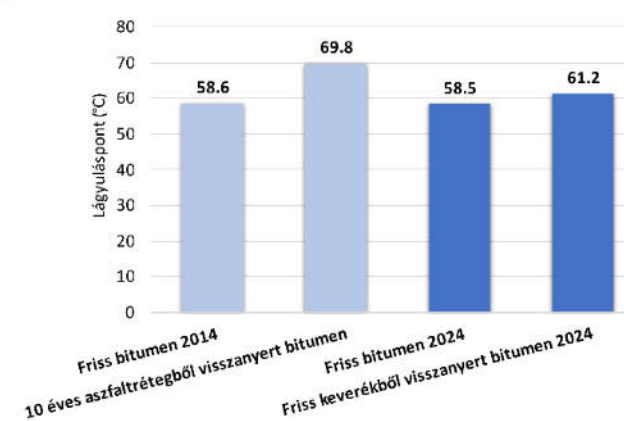
4.2. Bitumenek vizsgálati eredményei

Az előző pontban részletezett gumibitumen visszanyerési nehézségek ellenére érdemesnek tűnt megvizsgálni a visszanyert bitumenek tulajdonságait. Mivel a visszanyert gumirészecskék visszanyert bitumenhez való keverését műszakilag nem találtuk elfogadhatónak (pl. milyen körülmények között keverjük vissza?), ezért csak a bepárlás után visszanyert bitumint vettük figyelembe, ezt vizsgáltuk.

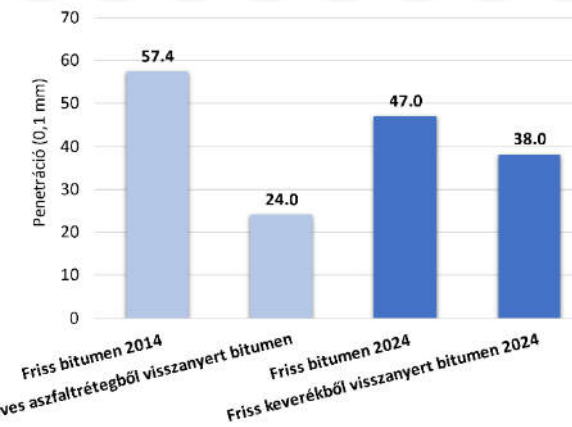
Összehasonlítva a 2014-ben megépült elkerülőút kivitelezésekor használt friss bitumenminták átlagos tulajdonságait a 10 év elteltével a fűrt magmintákból visszanyert

bitumen tulajdonságaival, egyértelműen megfigyelhető a lágyuláspont növekedése, valamint a penetráció és a rugalmas visszaalakulás csökkenése (16-18. ábra).

A frissen kevert aszfaltból visszanyert gumibitumen (pontosabban a bitumen) lágyuláspontja és penetrációja a friss gumibitumenhez képest ugyanolyan irányba változott, mint a 10 évig aszfaltban lévő minták esetében, azonban a változás kisebb mértékű (16-17. ábra). Ez logikus következménye annak, hogy a frissen kevert mintából visszanyert kötőanyag a 10 évnyi aszfaltburkolatban bekövetkező öregedést még nem szenvedte el, hanem csak a keverés során bekövetkező oxidatív öregedésnek volt kitéve.



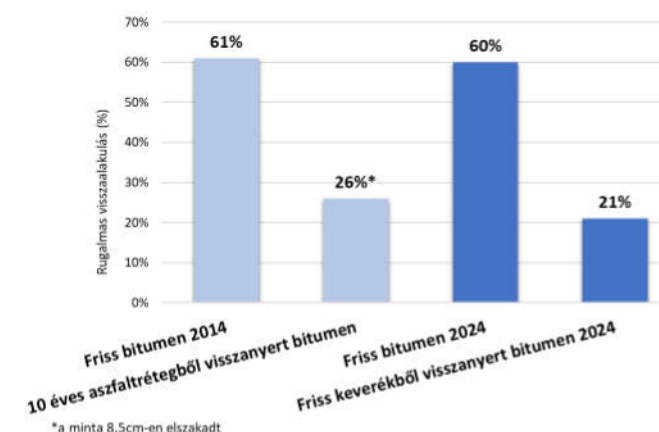
16. ábra A 2014 és 2024-ben felhasznált friss bitumenek és az aszfaltból visszanyert bitumenek lágyuláspontja (Visszanyert bitumen gumiszemcsék nélkül!)



17. ábra A 2014 és 2024-ben felhasznált friss bitumenek és az aszfaltból visszanyert bitumenek penetrációs értéke (Visszanyert bitumen gumiszemcsék nélkül!)

Ha a rugalmas visszaalakulás változását hasonlítjuk össze a frissen kevert és a 10 éves útburkolatból visszanyert kötőanyag esetén (18. ábra), akkor kevésbé egyértelmű következtetések fogalmazhatók meg. Míg a 10 éves visszanyert bitumen esetén a lágyuláspont és a penetráció változása jelentősebb, addig a rugalmas visszaalakulás mértéke közel azonos a két mintánál. Ugyanakkor a 10 éves bitumen minta 8,5 cm-nél elszakadt, ami az alapbitumen intenzívebb öregedésére utal. A visszanyerés során elvesző

gumirészecskék hiánya leginkább a visszanyert bitumen rugalmas tulajdonságainak csökkenésében mutatkozik meg, míg a 10 év alatt végbemenő öregedési folyamat kisebb mértékben figyelhető meg a rugalmas tulajdonság változása alapján. Ez azt jelenti, hogy az ilyen módon, extrakcióval visszanyert gumibitumen (inkább csak bitumen) rugalmasságának vizsgálata nem ad hiteles információt, függetlenül a visszamart aszfalt korától.



*a minta 8,5cm-en elszakadt

18. ábra A 2014 és 2024-ben felhasznált friss bitumenek és az aszfaltból visszanyert bitumenek rugalmas visszaalakulás értékei (Visszanyert bitumen gumiszemcsék nélkül!)

Ezért a minőségellenőrzés során vagy kizárólag a visszanyert gumibitumen lágyuláspontjára kellene összpontosítani, vagy továbbra is a mart gumibitumenes aszfaltot tartalmazó végleges aszfaltkeverék tulajdonságait kellene vizsgálni.

4.3. Aszfaltmechanikai vizsgálatok eredményei

A projekt során a következő aszfaltmechanikai vizsgálati módszereket alkalmaztuk:

- Merevség: MSZ EN 12697-26:2018+A1:2023 „C” mód-

szer – hasító–húzó vizsgálat hengeres próbatesteken (IT-CY) – 20 °C, 124 μs

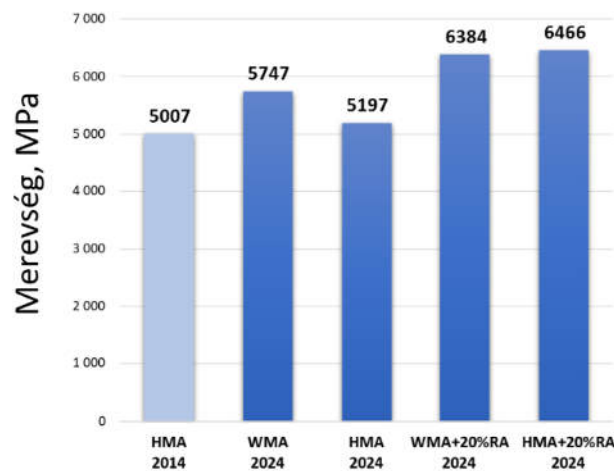
- Maradó alakváltozási ellenállás: MSZ EN 12697-22:2020 6.3 szakasz szerinti kiskerekű berendezéssel, B eljárás (60 °C)
- Fáradási ellenállás: MSZ EN 12697-24:2018 „D” melléklet – négy pontos hajlító vizsgálat (4PB-PR)

A vizsgálatok tárgyát képező aszfaltkeverék az AC 11 kopó (mF) GmB 45/80-55 volt, amelyet forró, illetve mérsékelt meleg (bitumenhabosításos) technológiával, továbbá 0% és 20% újrahasznosított aszfalt (RA) adagolásával állítottunk elő, így összesen négy különböző változatot

vizsgáltunk. A négy változathoz négy különböző típusvizsgálat készült az e-UT 05.02.11/2018/M1:2021 Ütügyi Műszaki Előírás követelményeinek megfelelően. Az előállított keverékek közötti különbségeket számottevően a gyártás és beépítés során fellépő esetleges változások, a két gyártási technológia eltérései, valamint a rendszerbe bevitt mart aszfalt tulajdonságai befolyásolták.

Merevség

Az IT-CY merevségi modulus értékei alapján a 2014-ben és 2024-ben épült HMA-k merevsége közel azonos volt (19. ábra). A legnagyobb merevséget az RA-tartalmú keverékek mutatták, ami a hozzáadott mart aszfalt megnövekedett merevségének tulajdonítható. Ugyanakkor az RA-t nem



19. ábra A vizsgált aszfaltok merevsége (IT-CY, 20°C)

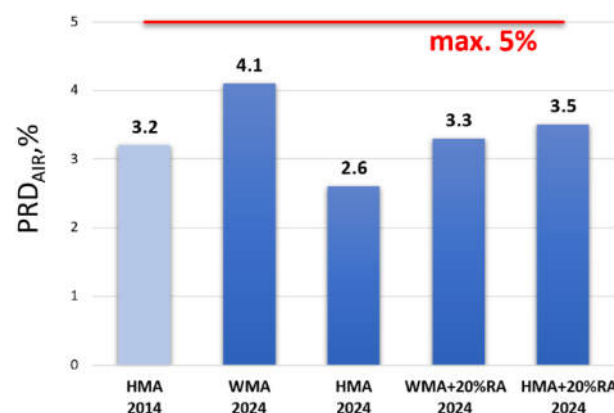
Fáradás

Bár az e-UT 05.02.11/M1 szabvány nem határoz meg fáradási határértékeket az AC 11 kopó (mF) típusú keverékek esetén, a vizsgálat sor teljessége érdekében az ilyen módon előállított keverékek fáradási tulajdonságainak vizsgálata mindenképpen indokolt. Az eredmények alapján megállá-

tartalmazó keverékek merevsége sem tért el jelentősen, ami kiegyensúlyozott teljesítményt jelez minden vizsgált keveréktípus esetében.

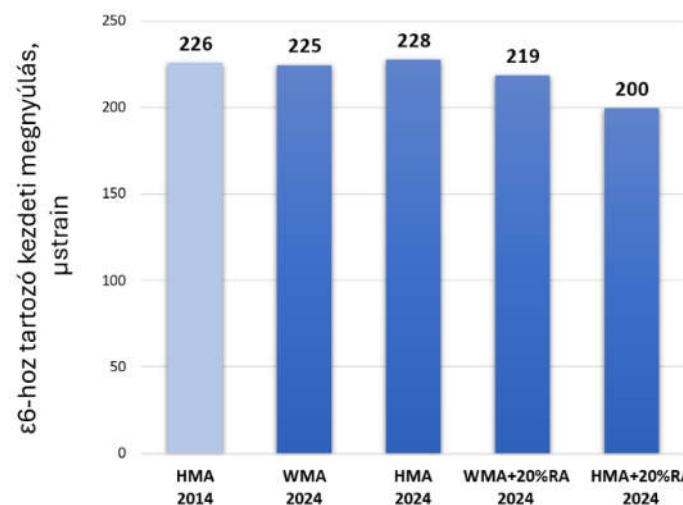
Maradó alakváltozási ellenállás

A keréknyomképződési vizsgálatok során minden keverék megfelelt a max. 5,0%-os előírásnak (20. ábra). A legkisebb deformációt a HMA keverék mutatta, annak ellenére, hogy alacsonyabb modulusértékekkel rendelkezett. A WMA keverék esetében enyhén magasabb deformációs értékek voltak megfigyelhetők. A két, mart aszfaltot tartalmazó keverék közel azonos keréknyomképződést mutatott, amely a HMA és WMA közé esett.



20. ábra A vizsgált aszfaltok keréknyomképződési hajlama (60°C)

pítható, hogy valamennyi vizsgált keverék kimagaslóan jó fáradási tulajdonsággal rendelkezik (21. ábra). A mart aszfalt hatása elsősorban a HMA típusú keverék esetén volt érzékelhető. Feltehetően a magasabb keverési hőmérséklet miatt a teljesítmény elmaradt a többitől, de még így is kedvező, 200 µstrain fáradási értéket mértünk.



21. ábra A vizsgált aszfaltok fáradási ellenállás eredményei (4PB-PR, 20°C, 30Hz)

5. Összefoglalás

A GMB-aszfaltvizsgálatok eredményei, a megépített utak minősége és azok időbeli változása, az útburkolatok felülvizsgálati eredményei, továbbá a gyorsforgalmi hálózaton történt sikeres útépitések mind azt igazolták, hogy a GMB-vel a PMB-aszfaltok minősége elérhető, sőt egyes minőségi paraméterekben (pl. fáradási ellenállás) azoknál is magasabb minőségi szint garantálható. Ezek a megállapítások azon aszfalt típusokra (SMA (mI) és AC típusú (mI)) is helytállóak, ahol a GMB egyelőre nem alkalmazható, ezért műszakilag indokolt a vonatkozó e-UT szabályozás módosítása és a GMB alkalmazhatóságának lehetővé tétele ezen aszfaltoknál is. A műszaki teljesítmény mellett gazdasági, társadalmi és környezetvédelmi okok alapján is indokolt lenne, hogy a GMB a nevezett aszfalt típusokban is felhasználható legyen, a szabályozás ezt lehetővé tegye.

Az aszfaltburkolatok minősége alapvetően meghatározza az útburkolat tartósságát, teherbírását és használhatóságát. A GMB-tartalmú mart aszfaltok (RA) újrahasznosítására eddig nem volt hazai tapasztalat. A cikkben bemutatjuk a GMB-tartalmú RA_{GMB} alkalmazhatóságát, a kísérleti projektet 2024 őszén hajtottuk végre. Négy különböző aszfaltkeveréket állítottunk elő és építettünk be a Villány Elkerülő úton: WMA, HMA, WMA & 20% RA, valamint HMA & 20% RA_{GMB}. A keverékgyártás és beépítés tapasztalatai, valamint az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján az innovációs projekt és a kísérleti szakasz építése sikeres volt.

A bitumenhabosításos technológiánál tervezett alacsonyabb keverési hőmérsékletet gyártástechnológiai okok – elsősorban a kis mennyiségű gyártás – miatt nem sikerült teljes mértékben elérni. Ugyanakkor sem a csökkentett hőmérsékleten történő keverés, sem a visszanyert aszfalt (RA) adagolása nem okozott problémát a gyártás során.

Az aszfaltvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a gumibitumenes visszanyert aszfalt alkalmas az asz-

faltgyártásban történő újrahasznosításra, továbbá hogy:

- Maradó alakváltozással szembeni ellenállása szempontjából az összes vizsgált keverék megfelelő teljesítményt mutatott.
- A mart aszfalt tartalmú WMA és HMA keverékek kb. 15-20%-kal nagyobb merevséget mutattak, mint az RA-t nem tartalmazó keverékek. Ez előnyös lehet nagy forgalmú utak esetén.
- Az újrahasznosított anyagot tartalmazó keverékek előállítása, beépítése és teljesítménye nem mutatott szignifikáns eltérést a hagyományos keverékekhez képest. Ez alátámasztja a GMB tartalmú RA alkalmazhatóságát aszfaltkeverék gyártás során.
- A mart aszfalt hatása érzékelhető volt a két RA-tartalmú keverék fáradás tulajdonságai esetén, különösen a HMA típusúnál, amely a nagyobb hősokk miatt kb. 10%-kal elmaradt a többitől. Ennek ellenére valamennyi vizsgált keverék kimagaslóan jó fáradási tulajdonságokat mutatott (minimum 200 µstrain).

A bitumengőzők légtérelmezés vizsgálata során illékony szerves vegyületek (VOC) és a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) koncentrációi minden esetben a mérési módszerek kimutatási határa alatt voltak. Az aszfalt bedolgozása során kimutatható vegyületek (naftalin, xilolok, metil-izobutil-keton) koncentrációi több nagyságrenddel alacsonyabbak voltak, mint a megengedett legnagyobb értékek.

Az extrahálásos kötőanyag visszanyerés nehézségei miatt a gumibitumen minőségellenőrzése az aszfaltkeverékek vizsgálatával oldható meg. Ennek fényében elengedhetetlen a gumibitumenes visszanyert aszfaltok minőségbiztosításának pontos szabályozása.

6. Felhasznált szakirodalom

- [Almássy, et. al, 2010] K. Almássy, A. Geiger, P. Gergő: *Using possibilities of rubber bitumen in road building*, Pollack Periodica, An International Journal for Engineering and Information Sciences, Vol. 5, No. 1, pp. 53-63, 2010.
- [Almássy, et al., 2021] Almássy, K., Geiger, A., Holló, A., Gáspár, L.: *Performance of asphalt mixtures with a new type of rubber modified bitumen* UDC 665.775. Facta universitatis - series Architecture and Civil Engineering, 19(1), 31-54., 2021.
- [Bocci & Prosperi, 2023] Bocci, E., & Prosperi, E.: *Recyclability of reclaimed asphalt rubber pavement*. Construction and Building Materials, 403(133040), 2023.
- [Bíró, et al, 2005] Bíró Sz., Bartha L., Deák Gy., Geiger A.: HU 226481, *Mechanokémiailag stabilizált, adalékolt gumibitumen kompozíció és eljárás annak előállítására*, 2005.
- [BME 2008] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszék: *MOL gumibitumenek alkalmazástechnikai vizsgálata*, Összefoglaló jelentés, 2008.
- [BME 2017] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszék: *Gumibitumenes aszfaltvizsgálatok*, Vizsgálati jelentés, 2017.
- [BME 2023] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszék: *GmB kötőanyagú aszfaltok és útpályaszerkezeti rétegek komplex vizsgálata*, Összefoglaló jelentés, 2023.
- [BME & KTI 2019] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszék, Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: *A hazai GmB kötőanyagú útpályaszerkezeti rétegek komplex viselkedési értékelése*, Zárójelentés, 2019.
- [Buttlar & Rath, 2021] Buttlar, W., & Rath, P.: *State of knowledge report on rubber modified asphalt*, 2021.

- [Caltrans, 2005] State of California Department of Transportation , Materials Engineering and Testing Services: *Feasibility of recycling rubber-modified paving materials*, February 2, 2025.
- [Crockford, et al., 1995] Crockford, W. W., Makunike, D., Davison, R. R., Scullion, T., & Billiter, T. C.: *Recycling crumb rubber modified asphalt pavements*, Texas Transportation Institute, 1995
- [Curtis, et al., 1993] Curtis Ch. W., Ensley K., Epps J.: *Fundamental Properties of Asphalt-Aggregate Interactions Including Adhesion and Absorption*, SHRP-A-341, 1993.
- [ÉKM 2015] Építési és Közlekedési Minisztérium Beruházási Portál. (2015). Forrás: <https://beruhazas.gov.hu/projektek/villany-elkerulo-ut-epitese/9834>
- FHWA 2014 The Use of Recycled Tire Rubber to Modify Asphalt Binder and Mixtures. Federal Highway Administration. (2014)
- [Geiger, et al., 2012] A. Geiger, A. Holló, A. Thernes, R. Durgó, S. Czibor, L. Bartha, P. Gergó: *Chemically Stabilized Rubber Bitumen*, Proceedings of the 5th Euroasphalt & Eurobitumen Congress, ISBN-EAN 978-90-802884-0-9, 2012.
- [Geiger, et al., 2014] Gumival módifikált bitumen (GMB) gyártása és a felhasználásával készült aszfaltok beépítési tapasztalatai
- [Geiger & Balogh, 2016] Geiger A., Balogh L.: *Gumival módifikált bitumen és felhasználásával gyártott aszfaltok új tapasztalatai*, Az Aszfalt, XX. évf, 2016/1. szám
- [Geiger & Holló, 2010] Geiger A., Holló A: *A bitumen és közet közötti tapadás – Fejlesztési törekvések a bitumen minőségének javítása érdekében*, Az Aszfalt, XIV. évf., 2010/1. szám
- [Kanerva, et. al, 1994] Kanerva, H. K., Vinson, T. S., Zeng H.: *SHRP-A-401 Low-Temperature Cracking: Field Validation of the Thermal Stress Restrained Specimen Test*, Department of Civil Engineering Oregon State University, Strategic Highway Research Program National Research Council, Washington DC, 1994
- [Király, et. al, 2015] Király Á., Geiger A., Németh Gy.: *A Villányt elkerülő út építése gumival módifikált bitumen (GmB) felhasználásával*, Az Aszfalt, XIX. évf, 2015/1. szám
- [KTI 2013] Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: *Gumival módifikált bitumen kötőanyagú aszfaltutak „életciklus jellemzőinek” megállapítása*, Zárójelentés, 2013.
- [KTI 2021] Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: *GmB kötőanyagú aszfaltok és útpályaszerkezeti rétegek komplex vizsgálata*, Zárójelentés, 2021.
- [KTI 2023] Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.: *MOL Gumibitumenes (GmB) keverékkel aszfaltozott utak helyszíni vizsgálata*, Zárójelentés, 2023.
- [Pais, et al., 2008] Pais, J., Pereira, P., Minhoto, M., & Baptista, A.: *Recycling of asphalt pavements with asphalt rubber*, Proceedings of the 3rd European Conference on Pavement and Asset Management–EPAM3, 2008
- [Rice & Harrison, 2021] Rice, Z., & Harrison, J.: *Investigation of the use of asphalt pavement from crumb rubber modified asphalt - Stage 2.*, Australian Road Research Board, 2021.
- [Sirin & Tia, 2003] Sirin, O., & Tia, M.: *Investigation of problems in binder extraction from conventional and rubber modified asphalt mixtures*, 2003.
- [Tóth, et al., 2016] Tóth, C., Pethő, L., Geiger, A., & Soós, Z.: *Performance assessment of hot mix asphalt with chemically stabilized rubber bitumen*. E&E Congress, Prague, 2016.
- [Wang, et al., 2019] Wang, H., Liu, X., Apostolidis, P., Erkens, S., & Scarpas, T.: *Numerical investigation of rubber swelling in bitumen*, Construction and Building Materials, 214, 506-515., 2019.
- [Zareh & Way, 2006] Zareh, A., Way, G. B.: *35 Years of Asphalt-Rubber Use in Arizona*, Proceedings of Asphalt Rubber 2006 Conference, Palm Springs, California, ISBN: 962-405-091-0, p. 17-37, 2006

Az újrahasználatról a „zöld címkéig”: Fejlesztések a holland aszfaltiparban

Foeke Elzinga

Export Manager
PANKAS A/S

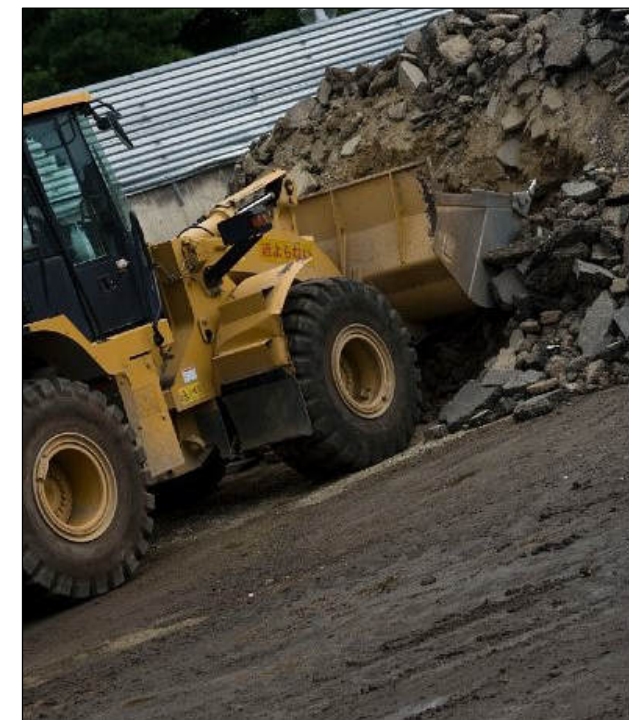


Fenntarthatóság és innováció az aszfaltiparban

A holland aszfaltipar a fenntarthatóbb és körkörebb aszfaltra való átállás küszöbén áll. A hangsúly az aszfalt hagyományos újrafelhasználásáról a fenntarthatósági címke, az úgynevezett "zöld címke" bevezetésére helyeződik át. Ez a cikk kiemeli az iparág legfontosabb fejlesztéseit és ambícióit.

Újrahasznosítás mint alap

Hollandiában évtizedek óta bevett gyakorlat az aszfalt újrahasznosítása. A felső rétegek aszfalt újrahasznosítása már az 1950-es években elkezdődött olaj hozzáadásával, és a hetvenes évektől indult meg igazán az újrahasznosítás, részben az energiaválság, részben a bitumen és az elsődleges nyersanyagok megtakarítása miatt. Az olyan újítások, mint a gőz használata a régi aszfalt felmelegítésére, majd a párhuzamos dob bevezetése hozzájárultak az újrahasznosított aszfalt egyre hatékonyabb felhasználásához. **Ma Hollandiában minden aszfaltgyár fel van szerelve akár 95%-os újrahasznosításra.** De úgy tűnik, hogy az újrahasznosításnak vannak hátrányai is, és erről a cikk későbbi részében olvashat.



Fenntarthatósági ambíciók Hollandiában

A Holland Útügyi Hatóság 2030-ig körkörös akar lenni, és ambícióit leírta egy útitervben a burkolatok átmeneti irányvonalában.

A cél az, hogy 2030-ra teljesen klímasemleges és körkörös legyen, minden anyag jó minőségű újrafelhasználásával és az elsődleges nyersanyagok felhasználásának felére csökkentésével.



Az ütemterv leírja a rövid, közép- és hosszú távú jövőképet, és ráközelít a következőkre:

- Újrahasználat
- Termelés
- Karbantartás

A rövid távú jövőképet (2026) tekintve az ambíciók a szelektív marásban, az alacsony hőmérsékletű aszfaltban [120°C] és az élettartamot meghosszabbító karbantartás nagyarányú alkalmazásában fejeződnek ki, például fiatalító komponenszt tartalmazó emulziókat használva.

Középtávon optimális bontási technikák alkalmazása és magasabb százalékos újrafelhasználás a bevonatokban. Megújuló energiaforrások, például zöld hidrogén és adatvezérelt karbantartás.

Hosszú távon [2030 után] az aszfalt egyre inkább a bioalapú kötőanyagokra, az in situ aszfaltpótlásra [remixre] és olyan további funkciókra fog támaszkodni, mint az aszfaltból hőtermelés és az alacsony gördülési ellenállású aszfalt alkalmazása.

Amint arról be kell számolnunk, az aszfalt újrafelhasználásának van egy hátránya is

Az aszfalt előállítása és újrahasznosítása során olyan anyagok szabadulnak fel, amelyek negatív hatással vannak a közegészségre. Ezen anyagok kibocsátásának csökkentése és végső soron megszüntetése fontos előfeltétele a korábban említett ütemtervnek.

Ezek az anyagok a következők:

- benzol: akkor szabadul fel, amikor az aszfaltgranulátumot újrafelhasználják aszfaltgyárakban magasabb hőmérsékleten
- PAH-ok: A kátrány-aszfalt újrafelhasználása során szabadulnak fel, és nem engedélyezett hideg és meleg újrafelhasználása a kátránytartalmú aszfaltoknak Hollandiában

Környezet

Egy másik fontos előfeltétel a talaj, az építési és a maradék anyagok biztonságos újrafelhasználása.

A kormányzati ambíciók mellett maga az aszfaltipar biztosan nem ül egy helyben.

Az egyik legjelentősebb fejlesztés az iparágban a Warm Mix Asphalt (WMA) átállás. Az iparág úgy döntött, hogy **2025. január 1-jétől nem állít elő [standard] aszfaltot 140°C feletti hőmérsékleten**. Ez, amint azt korábban említettük, csökkenti a káros kibocsátásokat, beleértve a benzolt, a kén-dioxidot és a nitrogén-oxidokat, miközben javítja az útfelület élettartamát.

Ezenkívül a Hot Mix Asphalt készítésénél az energiafogyasztás és így a CO₂-kibocsátás is magasabb, mint a Warm Mix Asphalt esetében, amelynek gyártási hőmérséklete 110-140°C.

Az eredmény egy tisztább környezet mindenki számára.



Az elmúlt években [az 1990-es évek vége óta] már sok tapasztalat gyűlt össze a 140 °C alatti aszfalt előállításával kapcsolatban Hollandiában. De 2024 vége óta szabályozások vannak érvényben a meleg aszfaltkeverékről szóló irányelv formájában. Ez az irányelv többek között a WMA jelenleg két engedélyezett gyártási módját írja le, nevezetesen:

1. **Közvetlen habosítás** - Ez azt jelenti, hogy vizet fecskendeznek a forró bitumenbe, habzó hatást hozva létre, amely az aszfaltot alacsonyabb hőmérsékleten is megmunkálhatóvá teszi.

2. **Adalékok hozzáadása** - A felületi feszültség csökkentésére vagy a bitumen viszkozitásának csökkentésére szolgáló adalékok, így az aszfalt alacsonyabb hőmérsékleten is könnyebben feldolgozható.

Az aszfaltgyártóknak a próbaszakaszok lefektetésével kell bizonyítaniuk, hogy elsajátították a WMA előállítását és feldolgozását. Ha megfelelnek a támasztott követelményeknek, akkor a megrendelők szerződést is köthetnek, hogy elfogadják a gyártók WMA termékeit.

Ez konkrétan az ütügyi hatóságok és vállalkozók számára azt jelenti, hogy sok jelenlegi szerződést módosítani kell, és az új szerződéseket frissíteni kell.

Ezen túlmenően - az alacsonyabb feldolgozási hőmérséklet miatt - a Warm Mix Asphalt feldolgozásakor extra intézkedéseket kell tenni. "Az aszfaltban tapadó bitumennek bizonyos hőmérsékletre van szüksége a megfelelő megmunkáláshoz, amely 160°C és 200°C között van.

140°C vagy az alatti hőmérsékleten további intézkedésekre van szükség annak biztosítására, hogy a bitumen

ugyanolyan jól keveredjen, hogy az aszfaltkeverék tulajdonságai ugyanazok maradjanak, mint a HMA keveréké."



Környezetbarát aszfaltkeverékek és bitumen

Hollandia a hőmérsékletcsökkentés mellett a bioalapú aszfaltkeverékekre és a hagyományos bitumen alternatíváira is fókuszál. Az olyan újítások, mint a Lynpave, a Grasspalt (50%-ban bioalapú kötőanyaggal) és a papír- és faiparból származó lignin alapú kötőanyagok ígéretes eredményeket mutatnak az aszfaltkeverékek terén, és olyan gyártók, mint az Ooms Products és a Shell alacsony széndioxid-kibocsátású bioalapú bitument fejlesztettek ki, köztük a Sealoflex bitumen Biomenet és a CarbonS-t.

Villamosítás és emissziócsökkentés

Az aszfaltipar fenntarthatóbbá tételének másik fontos pillére a berendezések villamosítása.

Az olyan innovációk járulnak hozzá, mint az elektromos aszfaltvonat, amely elektromos szórógépből, hengerekből és permetezőgépből áll, stb., a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése és a fosszilis tüzelőanyagoktól való függés csökkentése céljából.



Elkötelezettség van továbbá a hideg in situ újrahasznosítás és az aszfalt-újrahasznosító vonat [Hot Remix] újbóli bevezetése mellett. Az aszfalt-újrahasznosító vonat kiépítésének célja a Porózus Aszfalt megfelelő %-os fiatalítószerrel való nagyüzemi újrakeverése.

Erőfeszítések folynak az aszfaltgyárak kibocsátáskezelésének optimalizálására is. A legújabb kutatások azt mutatják, hogy a holland aszfaltgyárak közül legalább tíz túl sok

benzolt és policiklikus aromás szénhidrogént (PAH) bocsát ki. Szigorúbb kibocsátási szabványoknak és végrehajtásnak kell foglalkoznia ezzel a kérdéssel.

A „zöld címke” bevezetése

Az ágazat fenntartható kezdeményezéseinek ösztönzése érdekében a holland közúti hatóságok a "zöld címke" bevezetésén dolgoznak. Ez a tanúsítási rendszer, amely várhatóan 2030-ban válik kötelezővé, biztosítja, hogy csak a minimális fenntarthatósági kritériumoknak megfelelő aszfaltgyártók jogosultak a közbeszerzési szerződésekre.

A kritériumok közé tartozik

- Energiafelhasználás - Az iparág 185 MJ/tonna aszfalt maximális energiafogyasztást tűz ki, ami lényegesen alacsonyabb a korábbi 336 MJ/tonna átlagnál.
- Káros anyagok csökkentése - Szigorú határértékek vannak meghatározva a benzol és más veszélyes anyagok kibocsátására.
- Másodlagos és bioalapú anyagok használata - A körkörös gyártási folyamatok ösztönzése.

Ennek az átmenetnek a támogatására a holland kormány pénzt bocsát rendelkezésre a Fenntartható Aszfalt Klíma Alapból. Ez segíteni fogja a vállalatokat a tisztább gyártási folyamatokba és technológiákba való beruházásban.



Következtetés

A holland aszfaltipar a fenntarthatóbb és környezetbarátabb aszfaltra való átálláson megy keresztül. Az újrahasznosítás, a hőmérsékletcsökkentés, az elektromosítás és a bioalapú anyagok felhasználásával kapcsolatos innovációk körkörös jövőre készítik fel az ipart. A "zöld címke" bevezetésével pedig fontos lépést tesznek a klímasemleges és teljesen körkörös útépités felé 2030-ig.

Fenntartható aszfaltipar, „zöld megoldások” az útéépítésben

Lancsák Ildikó

Kiemelt ügyfélkapcsolati
menedzser
Labo WTC Hungary Kft.
www.labowtc.hu



A Labo WTC Hungary Kft. bemutatása

A Labo WTC 1991-ben alapított vállalat, ami mostanra meghatározó szerepet tölt be főként az Európai Unió területén működő ipari és mezőgazdasági vállalatok körében. Magyarországról látjuk el a Közép- és Kelet Európai régiót.

Székhelyünk Budapesten, logisztikai telephelyünk Dunavarsányban, gyártóüzemünk Belgiumban, Fleurusban található.



Az alapításkori klasszikus vegyipari termékgyártási profil átalakult. A jelenben a lehető legnagyobb hangsúlyt fektetjük a környezetvédelemre, a környezettudatos gyártástechnológiákra, a biotechnológiai termékgyártásra, valamint az egyedi fejlesztésű termékek gyártására.

Vállalatunk speciális vegyianyagok, környezetbarát és biotechnológiai mosó, tisztító és karbantartó anyagok gyártásával és értékesítésével foglalkozik ipari szereplők részére.

Küldetésünk olyan modern, környezet és felhasználóbarát alternatívákat kínálni partnereink számára a tisztítási és karbantartási területen, amelyek minőségben és határfokban is felveszik a versenyt az eddig használt elavult és környezetszennyező vegyi termékekkel szemben.

Abban hiszünk, ha ezen a termékek használata határfokban és gazdaságilag is előnyösebb megoldás, akkor nincs érv a környezetszennyező termékek használata mellett.

Szakértő képviselő kollégáink lefedik Magyarországot területét folyamatos támogatást és szakmai háttérrel biztosítva több, mint 2000 magyarországi partnerünk részére.

ESG – Environmental, Social, Governance

Az ESG – Environmental, Social, Governance, azaz Környezeti, Társadalmi és Irányítási – szabályozás nem más, mint egy iránytű, amely a fenntarthatóság és felelősségteljes működés felé mutat. Az Európai Unió ezen szabályozása arra kötelezi a nagyvállalatokat és a nagyvállalatok beszállítóit kőrébe tartozó közepes és kis vállalatokat, hogy tegyenek számot nem csak gazdasági teljesítményükről, hanem környezeti és társadalmi hatásairól is. Ez magában foglalja a környezetvédelmet, a munkavállalói jogok tiszteletben tartását és az átlátható vállalatirányítást.



Miért kulcsfontosságú az ESG a cégeknek?

Egy zöld jelvénnel nem csak a bolygót óvjuk, hanem egy-egy vállalkozás vagy vállalat hosszú távú sikerességét is biztositjuk. A fenntarthatósági jelentések bemutatják, hogy egy vállalat hogyan veszi komolyan társadalmi és környezeti felelősségvállalását, ami elengedhetetlen a jövő piacán való sikeres megmérettetéshez.

Ahogy egyre több ember és vállalat ismeri fel a fenntartható működés jelentőségét, úgy válik egyre világosabbá, hogy a keretrendszer nem csupán egy szabályozás, hanem egy lehetőség a jobb és zöldebb jövő építésére.

Tehát az ESG rendszer három alappillérből áll.

- E pillér (Environmental)
- S pillér (Social)
- G pillér (Governance)



Aszfalttapadásgátlók, leválasztó olajok

Aszfalttapadásgátlók és leválasztó olajok: Fenntartható Megoldások az útéépítésben

A hagyományos aszfaltos munkák során gyakran felmerül a kérdés: miért ne használjunk gázolajat vagy fáradt olajat? Az alábbi problémák mindegyike arra mutat, hogy érdemes alternatívát keresni:

- Oldja a bitument
- Foltot hagy
- Technológiai utasítások tiltják a használatát
- Műszaki ellenőrök nem hagyják jóvá

Cégünk, a Labo WTC, számos innovatív termékkel kínál megoldásokat az aszfalttapadás megelőzésére. Az ipari szektor igényeihez igazodva kínálunk ásványi olaj alapú és növényi eredetű, bio termékeket, melyek nemcsak környezetbarátak, hanem gazdaságos alternatívát is jelentenek a hagyományos megoldásokkal szemben.



A Labo WTC két pillér erősítésében tud aktív szerepet vállalni:

Az E pillérhez erősítésére, ami a környezeti terhelés csökkentését is magába foglalja, a Labo WTC olyan környezetbarát ipari mosó, tisztító és karbantartó anyagokat gyárt és értékesít, amikkel a professzionális munkavégzés megkönnyíthető és ezen termékek használatával gazdasági oldalon is pozitív mérleg érhető el.

Cégünk az S pillér erősítésében is tud szerepet vállalni hiszen ez a pillér vizsgálja a társadalomra gyakorolt hatásokat ez által magában foglalja a biztonságos munkakörnyezet és a munkavállalók egészségére ható káros anyagok vizsgálatát. A környezetbarát és biotechnológiai termékek nem veszélyesek a felhasználókra. Használatukkal tiszta, veszélymentes munkavégzési feltételeket lehet biztosítani.

Vállalatunk tagja a Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetségének és az ESG Club Hungary-nak is.

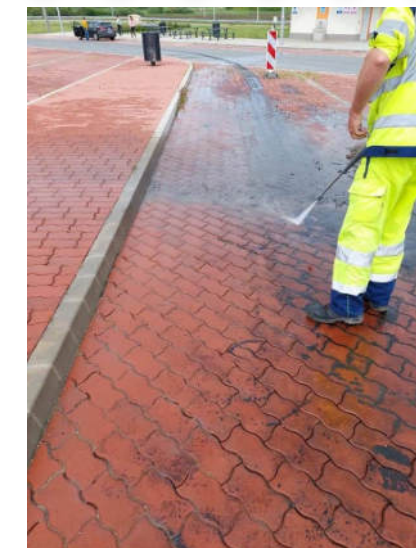




Bitumenoldók

Bitumenes szennyeződések eltávolítására több termékünk közül tudnak válogatni a partnereink, legyen szó a munkagépekről, lapátokról, személygépjárművekről, szegélykőről, térkőről, lábazatról, vagy akár mederlapról.

- Veggiesolv: 100% növényi összetevőkből álló, bio termék. Bárhol használható, szagmentes
- Tar Remower ipari bitumenoldó (gépek, lapátok, térkő, szegélykő, lábazat, mederlapok, járművek tisztítására)
- Orange X (belső használatra, hengerek, gépjárművek belső tisztítására, laborszerek takarítására)



“Vészhelyzeti csomag”, olajfelfutató és eltávolító anyagok

Bárki, aki az építőiparban dolgozik, biztosan találkozott már olyan helyzettel, amikor egy hidraulika tömlő elpattant, és az olaj ráfolyt az aszfaltra. Ilyen esetekben kulcsfontosságú, hogy gyors és hatékony megoldással reagáljunk.

Cégünk **vészhelyzeti csomagja** éppen ilyen helyzetekre lett kifejlesztve. A csomag tartalmaz egy zsákos olajfelfutató granulátumot és egy kétfázisú, rendkívül erős mosófolyadékot, amely az olajat hatékonyan eltávolítja a felületről. A mosófolyadékot laboratóriumi tesztek igazolják, így biztosak lehetünk benne, hogy nem károsítja az aszfaltot és nem oldja a bitument.

A legideálisabb, ha a munkaterületen mindig rendelkezésre áll egy ilyen csomag. Így, ha egy váratlan esemény történne, azonnali intézkedésekkel gyorsan orvosolhatjuk a problémát és biztosíthatjuk a tiszta, biztonságos munkakörnyezetet.



SZUPERFOAM, ami tényleg szuper



Ez az extra erős habtisztító eltávolítja a legmakacsabb szennyeződések. Kiválóan alkalmazható kezelőpanel tisztításra, zsírtalanításra, vízkőoldásra és kárpit-tisztításra is.

PINTY PLUS TECH jelölőfesték



Citromsárga, narancssárga, piros, kék, zöld, pink, fehér matt fluoreszkáló színekben.

A fluoreszkáló jelölő spray topográfiai jelzések, földmérési munkák, bányászati munkák, kőbányák, építkezések, közmunkák, autópályák, autóutak karbantartásához, rendezvények, egyéb díszítések és általában ipari felhasználásra ajánlott.

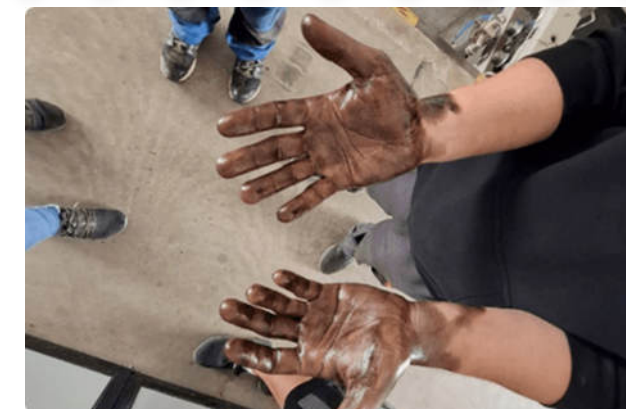
Alkalmazható aszfalton, betonon, kőven, homokon, fán, fémén.

Speciális szórófejének és formulájának köszönhetően 360 fokban fújható.

Személyi higiénia



Különböző kéztisztító és kézápoló termékeinkkel teljesen le tudjuk fedni a felmerülő személyi higiéniai igényeket. Nagy hatékonyságú ipari kéztisztítóink többféle illatban elérhetőek.



- Smash banana, banános illattal
- Blue Bubble, rágógumi illatban
- Yellow extreme új generációs ipari kéztisztító, környezet és felhasználóbarát összetétellel.

Aszfalt- és beton vágókorongok



Az általunk forgalmazott gyémántszerszámok legmagasabb minőséget képviselik a piacon. Megoldást kínálunk aszfalt, beton, CKT, frissbeton vágásra.

Lancsák Ildikó
Kiemelt ügyfélkapcsolati menedzser
Labo WTC Hungary Kft.
+36 20 378 1690
lancsak.ildiko@labowtc.hu
www.labowtc.hu

Építési termékek környezeti fenntarthatóságra vonatkozó alapvető jellemzőinek szabályozása

Szabó Róbert

Tanúsító mérnök MIR vezető,
Technológiai, Laboratóriumi
és Innovációs Zrt.



kulcsszavak: ESG beszámoló, fenntarthatósági jelentés, fenntartható termék, Régi CPR, AVCP 3+ rendszer, Új CPR, AVS 3+ rendszer, környezetvédelmi alapvető jellemzők, környezetvédelmi terméknnyilatkozat, teljesítménynyilatkozat, teljesítmény-és megfeleléségi nyilatkozat

Globális viszonylatban érzékelhető folyamat indult el az éghajlatváltozás tekintetében. A fejlődés útját járva, különböző régiók, országok, stratégiát dolgoztak ki a változás megfigyelésére, reménybeli céljuk elérése érdekében. Felismerték továbbá, hogy a növekvő demográfiai mutatók, növekvő energiaigényt jelentenek. Az életminőség növelésének igénye hatványozza ezeket.

Az Európai Unió is felismerte mindezeket, és célként tűzte ki a jövő generáció szükségleteinek biztosításához szükséges körülmények fenntartását, biztosítását.

Magyarországon működő építésben érdekelt vállalatok is tapasztalták, hogy működésüket befolyásoló folyamatosan változó gazdasági hatások mellett a digitalizáció, és a fenntarthatóság is többlet követelményeket támaszt feljőlük.

Információ közlés célja, hogy a környezeti fenntarthatóság szempontjából releváns szabályozásokról ejtsen néhány szót.

De mi is a fenntarthatóság: a fenntarthatóság a jelenlegi generációk szükségleteinek kielégítését jelenti anélkül, hogy veszélyeztetnénk a jövő generációinak képességét saját szükségleteik kielégítésére.

Ketté választanám cikkem témáit. Először szólnék a vállalatokra vonatkozó kötelezettségekről, majd kifejezetten csak az építési termékekre vonatkozó követelményekről szeretnék írni.

Európai szabályozási környezetben:

Globális megállapodás jött létre a hőmérséklet emelkedés 1,5 Celsius fok alatt tartására 2015-ben (Párizsi klímaegyezmény). 2019-ben az EU Zöld Megállapodás során deklarálta (GREEN DEAL) az EU klíma politikáját. Ennek hatására az EU taxonómiai rendeletet is hatályba léptették, amely az EU fenntartható gazdasági tevékenységre vonatkozó besorolási rendszereit is tartalmazza. A nem pénzügyi jellegű jelentéstételi kötelezettség 2018-ban került bevezetésre (NFRD) EU tagországaiban. 2022-ben pedig az EU fenntarthatósági jelentés tételi irányelve (CSRD) is megjelent, ami szigorította az azt megelőző jelentéstételi kötelezettségeket. Az ellátási lánc fenntarthatósági kockázatainak azonosítását és csökkentését célzó fenntarthatósággal kapcsolatos vállalati átvilágításról szóló CSDDD 2024-ben hozott új szabályokat.

Köztes célként 2030-ra vállalta az Európai Unió, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását legalább 55 % csökkenteni fogja az 1990-es szinthez képes, 2050-re pedig nullára csökkenti az üvegházhatású gázok nettó kibocsátását az Európai Unióon belül.

Ezt követően különböző hatások nyomására 2024-ben előkészítésre került és 2025. tavaszán megszavazásra került az úgynevezett OMNIBUSZ tervezet. Ennek lényege, hogy a fenntarthatósági jelentésre kötelezettek száma csökkenni fog.

Azonban az Európai Unió célok megvalósítása csak abban az esetben történhet meg, amennyiben az Európai Unió területén működő vállalatok teljesítik a szabályozásokban leírtakat.

Erre reagált a magyar törvényhozás és megalkotta az ESG törvényt, amely 2024 januárjában lépett hatályba. A Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságán belül létrejött az ESG ügyekért felelős szervezeti egység is. Az ESG szabályok betartatását ők végzik.

Magyarországon jelen állapot szerint 2 különböző jelentéstételi kötelezettség létezik.

Az egyik a fenntarthatósági jelentés tételére vonatkozó kötelezettség, ezt a számviteli törvény írja elő, az üzleti jelentés részeként kell megjeleníteni, a vállalat fenntarthatósági hatásairól ad összefoglalót és könyvvizsgálók auditálják.

Ezzel párhuzamosan az ESG beszámoló, ESG törvény által kötelező, az SZTFH hatósági ellenőrzés alatt áll, kiterjedt részletes fenntarthatósági teljesítményt mutat be, független tanúsító tanúsítja, a vállalat ESG teljesítmény értékelését szolgálja.

Várható, hogy az OMNIBUSZ rendeletek hatására változások fognak történni a magyar törvényi szabályozásban. Ennek hatására vélhetően jóval kevesebb szervezetre fog vonatkozni az ESG-vel kapcsolatos jelentéstételi kötelezettség. Várható az is, hogy csak a közvetett beszállítói láncot kell kérdőív által átvilágítani.

Azonban az ESG követelményeivel kiegészített irányítási rendszer folyamatos hatékony működése, nagy hozzáadott értéket képvisel a vállalatok számára, ezért javasolt önkéntes alapon is az ESG szabályozások betartása. Kérdésként merülhet fel továbbra is, hogy a korábban utalt változások mikor fordulnak vissza, mikor kerülnek újból szigorításra az ESG szabályok.

Összefoglalva az ESG alkalmazásának kötelezettsége lazulni látszik, azonban nem kötelezett vállalatok számára is önkéntes alkalmazása továbbra is javasolt.

Az ESG következményeképpen 2024 nyarán hatályba lépett a fenntartható termékek környezettudatos tervezésére vonatkozó EU rendelet. E rendelet minden termék esetén úgynevezett EU megfeleléségi nyilatkozat kötelezettségét írta elő. Az EU megfeleléségi nyilatkozat nem más, mint a klímaváltozással kapcsolatos környezeti fenntarthatósági mutatószámok igazolására szolgáló nyilatkozat.

Hatása, hogy a régi CPR 305/2011 EU rendeletre tett módosító építési termékek teljesítmény állandóságának a környezeti fenntarthatóságra vonatkozó alapvető jellemzők meghatározásával kapcsolatos EU rendelet 2024/2769 EU rendelet 2024 novemberében hatályba lépett. E rendelet már lehetővé teszi a harmonizált termékszabványok által gyártott termékek esetén az AVCP 3+ rendszer alkalmazását. A rendszer alkalmazásának kötelezettsége akkor valósul meg, amennyiben a termékre vonatkozó szabályozások ezt deklarálják.

Az AVCP 3+-os rendszer alkalmazásának feltételei az alábbiak:

-gyártónak egyik feladata a termék teljesítményének értékelése során alkalmazott bemeneti értékekre, feltételezésre és modellezésre vonatkozó adatgyűjtés.

-másik feladata az üzemi gyártásellenőrzés elvégzése annak érdekében, hogy környezetvédelmi terméknnyilatkozatot készítsen terméke funkcionális egységére vonatkoztatva, például egy tonna aszfaltkeverékre.

Ahhoz, hogy a nyilatkozatban szereplő információk hivatalossá váljanak megfelelés- értékelésen kell átesniük. A validálást bejelentett szervezet végzi, aki határoz a validálási jelentés kiadásáról, ellenőrzi a termékkategória specifikus szabályok betartását, ellenőrzi az értékeléshez használt eljárást, értékeli a nyilatkozat készítéshez alkalmazott szoftvert és helyes alkalmazását, ellenőrzi a gyártó üzemenben rendelkezésre álló adatok érvényességét.

Új CPR 3110/2024 EU rendelet 2025 január 8-án lépett hatályba. E rendelet váltja föl a régi CPR rendeletet, azonban alkalmazása csak lépcsőzetesen történik meg. Tartalmukban átfedés van azonban megjelentek új elemek is, amelyek alkalmazása szintén lépcsőzetesen lép hatályba. 2025 január 7-től elsősorban a szabványosítással kapcsolatos kötelezettségek léptek hatályba. 2026 január 8-tól azonban az építési termékre vonatkozó részletsabályok is kötelezővé fognak válni. E jogszabály leírja mindemellett, hogy a régi CPR termékre vonatkozó részletsabályai adott esetben 2040 évig is hatályban maradnak.

Miért is van erre szükség? Minden építési termékre vonatkozik termékszabvány. Elindult az új követelmények beültetése minden építési termék követelményrendszerébe, azonban a szabványok darabszáma miatt ez hosszú folyamat. Minden termék típus esetén rendelkezésre álló új harmonizált termék szabvány elkészítését 2035-2040-re jósolják.

Addig amíg az adott termékre vonatkozó harmonizált termékszabványok alkalmazása nem lesz kötelező (megjelenik a termékszabvány az Európai Unió Hivatalos lapjába és el nem telik az egy éves türelmi időszak), a régi van hatályban, ami azt jelenti, hogy az eddigi 305/2011 EU rendelet szabályozásai a kötelezőek, azt követően pedig az új CPR 3110/2024 EU rendelet szabályozásait kell alkalmazni. A termékszabványok ZA melléklete tartalmazza a harmonizálásra vonatkozó mindenkor kötelező részletsabályokat. Az új CPR azonban már nem az építési termék teljesítmény állandóságának értékelésében és ellenőrzésében gondolkodik (AVCP rendszer), hanem úgynevezett AVS értékelési és ellenőrzési rendszert kíván alkalmazni. Ennek lényege, hogy az eddigi műszaki jellemzők mellett, validálási mechanizmuson keresztül a környezeti alapvető jellemzők ellenőrzése, környezeti fenntarthatósági teljesítmény mérése is megvalósul. Az új CPR már nem teljesítménynyilatkozatot kér, hanem teljesítmény-és megfeleléségi nyilatkozat kötelezettsége áll fent. Előző bekezdésben taglalt EU megfeleléségi nyilatkozat kötelezettsége így került bele az építési termékekkel kapcsolatos EU szabályozási rendszerbe.

Azonban amíg nincs új termékszabvány addig a régi 305/2011 EU rendelet szabályozása mentén a környezetvédelmi termék nyilatkozat (EPD) alkalmazása a megoldás.

Az EPD fizikai értelemben 2 kulcs dokumentumból áll: LCA életciklus elemzésből, és egy nyilvános EPD dokumentumból. Az LCA eredményét és egyéb EPD tartalmi kötelezettségeknek megfelelően elkészített dokumentum.

EPD készítésének folyamata jelenleg a következő:

A gyártó által történő adatgyűjtést követi elemző által készített életciklus elemzés és EPD dokumentum elkészítése, ezt egy validáló szervezet validálja, és a programoperátor teszi közzé. Az életciklus elemzés alapja, hogy rendelkezésre álljon annak végrehajtásának szabályrendszere. Ezeket a termékkategória szabályokat nevezik PCR-nek.

PCR-ek elkészítését jelenleg úgynevezett program operátorok végzik. Azonban több program operátor is létezik, ezért azonos termékcsoportba tartozó termékekre vonatkozó PCR-ek között különbségek vannak, amik nem teszik lehetővé a vágyott összehasonlíthatóságot.

Ennek folyamodványaként az EU úgy döntött, hogy termékszabványonként szabványosítják a PCR-eket. Ezek olyan környezetvédelmi terméknyilatkozat szabványok, amelyek termék specifikusan tartalmazzák a PCR szabályokat. A termékspecifikus környezetvédelmi terméknyilatkozat szabványt fogja behivatkozni a harmonizált termékszabvány ZA melléklete, így használatuk kötelező lesz.

Nem harmonizált építési termék kategória esetén, például beton és betonelemek termékkategória szabályait már szabvány formájában korábban megalkották, ami már tartalmazza a környezetvédelmi terméknyilatkozatok beton és betonelemek termék kategóriája szabályait. Ennek alkalmazása önkéntes. Azonban már van magyar betongyártó vállalati pozitív példa, amely igazolja, hogy a gyártó üzemek nem hagyják figyelmen kívül a változásokat és készítnek környezetvédelmi terméknyilatkozatot.

De mit is kell tenni akkor, hogyha szeretnénk felkészülni arra az esetre amikor már kötelező az 3 + AVCP rendszer alkalmazása és teljesítménynyilatkozat mellett a környezetvédelmi terméknyilatkozat készítése vagy kötelező a 3 +

AVS rendszer alkalmazása, teljesítmény- és megfelelőségi nyilatkozat megléte.

Gyártó üzemünk üzemi gyártásellenőrzési rendszerét ki kell egészíteni környezeti fenntarthatósági szabályokkal. Azonosítsuk be, milyen követelményrendszer szerint kell működni. Keressünk szabványos vagy nem szabványos PCR szabályokat, válasszunk program operátort, aki PCR dokumentumokat tulajdonolja vagy válasszunk már elkészült PCR szabványt, ami alapján saját vagy külső munkát alkalmazva elvégezhetjük az életciklus elemzést. Az életciklus elemzést követően készítsük el a teljesítmény- és megfelelőség nyilatkozatunkat vagy környezetvédelmi terméknyilatkozatunkat. Validáltassuk a nyilatkozatot bejelentett validáló szervezet segítségével.

Így az életciklus elemzés végeredményeként keletkezett környezeti alapvető jellemző mutatók számait már tudjuk alkalmazni a környezetvédelmi alapvető jellemzők nyilatkozata során. Érdemes minél hamarabb elkezdni a szakmai felkészülést erre a munkafolyamatra, mert ma Magyarországon nagyon alacsony a létszáma azoknak a személyeknek, akik építési termék tekintetében jártassággal rendelkeznek. Buzdítok mindenkit arra, hogy aki építési termék gyártással foglalkozik, ismerkedjen meg az életciklus elemzés szabályrendszerével és a munkafolyamatok végzése során a szükséges információk gyűjtését kezdje el.

Habár a környezeti alapvető jellemzők meghatározása az Európai Unió ESG szabályozások mentén került be az építési termék rendeletbe, annak alkalmazása kötelező. Az ESG szabályokat lazítják ugyan, azonban a termék gyártókra vonatkozó kötelezettségek az ÚJ CPR EU rendelet mentén nem fognak lazulni. **Az építési termékre vonatkozó környezeti fenntarthatósági szabályozások bevezetése építési terméket gyártó vállalatok esetén kötelező marad.**

Vigyázat EPD! - Aszfaltkeverékek környezetvédelmi terméknyilatkozatának készítése

Roszik Gábor



Colas Hungária Zrt.
minőségirányítási vezető

1. Történeti kitekintés

Visszatekintve az aszfaltipar elmúlt 25 évére, azt látjuk, hogy mint az élet minden más területén, itt is folyamatos a változás. Igaz ez a műszaki előírásokra és az aszfaltra, mint építési termékre vonatkozó jogszabályokra is. Magyarország 2004.05.01-én csatlakozott hivatalosan az Európai Unióhoz (továbbiakban: EU) és ebből kifolyólag vállalta, hogy csatlakozik az EU-s jogrendhez és azt magára nézve kötelezőnek tekinti. Ebből kifolyólag, már a csatlakozás előtt megkezdődött a jogszabályok harmonizálása. Ez érintette az építési termékekkel kapcsolatos jogszabályokat.

A szakma először a „3/2003. (I. 25.) BM–GKM–KvVM együttes rendelet az építési termékek műszaki követelményeinek, megfelelőség igazolásának, valamint forgalomba hozatalának és felhasználásának részletes szabályairól” találkozott és évekbe telt mire mindenki megszokta, hogy a gyártott aszfaltkeverékek forgalomba hozatalakor szállítói megfelelőségi nyilatkozatot kell kiadni a vevők részére. Ez a tanulási folyamat 2008 – 2010 környékére hozta meg az eredményét, ekkora már minden gyártó tisztában volt a jogszabály előírt kötelességeivel, mindenki megértette, hogy mit jelent a 2+ tanúsítási rendszer és a magyar tanúsító szervezetek is megkapták a kijelölést, majd a bejelentett szervezet (NB- Notified Body) státuszt is, hogy jogszerűen tanúsíthatóak a 2+ rendszer szerint működő gyártókat.

Ezek után már könnyebben ment a váltás, amikor megje-

lent „Az Európai Parlament és a Tanács 305/2011/EU rendelete (2011. március 9.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről”. Ekkor megtanultuk, hogy szállítói megfelelőségi nyilatkozat helyett teljesítménynyilatkozatot kell kiadni és azt is, hogy az egyes aszfaltkeverék típusokra vonatkozólag a teljesítménynyilatkozaton milyen teljesítmény kategóriákról/ teljesítmény osztályokról kell nyilatkozni. Ezt fogja felváltani az új 2024/3110 CPR rendelet szerinti rendszer, mely alapján újra tanulnunk kell.

2. Az új CPR rendelet és a hozzá kapcsolódó környezetvédelmi terméknyilatkozat (EPD)

„Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2024/3110 rendelete (2024. november 27.) az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról és a 305/2011/EU rendelet hatályon kívül helyezéséről” jogszabály szerint a gyártóknak a forgalomba hozatalt megelőzően a termékeikhez Teljesítmény- és megfelelőségi nyilatkozatot kell kiállítaniuk a termékre vonatkozó harmonizált szabványok előírásainak megfelelően. A teljesítmény- és megfelelőségi nyilatkozatnak tartalmaznia kell a már eddig is megszokott teljesítmény kategóriákon túl a termék teljes életciklusa alatti környezeti fenntarthatósági

teljesítményét a jogszabály II. mellékletben felsorolt előre meghatározott alapvető környezetvédelmi jellemzők tekintetében a nyilatkozat tárgyát képező jellemzőkre vonatkozóan. A teljesítménybe bele kell számítani a felhasznált vagy a legnagyobb valószínűséggel használt csomagolást, és a teljesítményt a Bizottság honlapján ingyenesen elérhetővé tett LCA (Life Cycle Analysis) szoftver legfrissebb verziójának használatával kell kiszámítani.

A harmonizált műszaki előírásoknak és az európai értékelési dokumentumoknak a termék életciklus-értékeléséhez kapcsolódó, előre meghatározott alapvető környezetvédelmi jellemzők alábbi jegyzékére kell kiterjedniük:

- a) az éghajlatváltozásra gyakorolt hatások – összesen;
- b) az éghajlatváltozásra gyakorolt hatások – fosszilis tüzelőanyagok;
- c) az éghajlatváltozásra gyakorolt hatások – biogén anyagok;
- d) az éghajlatváltozásra gyakorolt hatások – földhasználat és földhasználat-változás;
- e) az ózonréteg lebontása;
- f) savnövelési potenciál;
- g) az édesvíz eutrofizálódása;
- h) a tengervíz eutrofizálódása;
- i) szárazföldi eutrofizálódás;
- j) fotokémiai ózon;
- k) abiotikus lebomlás – ásványok, fémek;
- l) abiotikus lebomlás – fosszilis tüzelőanyagok;
- m) vízfelhasználás;
- n) lebegő részecske;
- o) ionizáló sugárzás, emberi egészségre gyakorolt hatások;
- p) ökotoxicitás, édesvíz;
- q) humán toxicitás – rákkeltő hatások;
- r) humán toxicitás – nem rákkeltő hatások;
- s) földhasználattal összefüggő hatások.

A harmonizált műszaki előírásoknak a lehető legnagyobb mértékben ki kell terjedniük a szén ideiglenes megkötésére való képesség és az egyéb szén-dioxid-el távolítások előre meghatározott alapvető környezeti jellemzőire is.

Ezek a harmonizált szabványok még csak korlátozottan állnak rendelkezésre, az alapvető szabályok és néhány építési anyagra vonatkozólag:

- MSZ EN 15804:2012+A2:2020 Építmények fenntarthatósága. Környezetvédelmi terméknyilatkozat. Építési termékek kategóriáját meghatározó alapvető szabályok;
- MSZ EN 16908:2017+A1:2022 Cement és építési mész. Környezetvédelmi terméknyilatkozat. A termékkategóriára vonatkozó kiegészítő szabályok az EN 15804 szabványhoz;
- MSZ EN 16757:2023 Építmények fenntarthatósága. Környezetvédelmi terméknyilatkozatok. A beton és betonelemek termékkategória-szabályai.

Az MSZ EN 15804:2012+A2:2020 szabvány szabályozza általánosan az építési termékekre vonatkozólag a környezetvédelmi terméknyilatkozat számítására vonatkozó szabályokat. A szabvány legfontosabb része a különböző életciklus modelleknek a leírása, amelyekből választani lehet a gyártónak a termék környezetvédelmi teljesítményének a meghatározásához. Ezek típusait a 1. ábra mutatja be.

A 2024/3110 jogszabály egyértelműen előírja, hogy az építési termékekre vonatkozólag a gyártóknak a teljes életciklusa alatti környezeti teljesítményét kell meghatározni, azaz a „Bölcsőtől a sírig és D modul” típust kell alkalmazni.

Egész addig, amíg az aszfaltra vonatkozólag nem jelennek meg az új termékszabványok és a Bizottság honlapján nem lesz elérhető a számításhoz szükséges LCA szoftver, addig a jelenlegi jogszabály szerinti teljesítménynyilatkozat alkalmazandó.

3. Hogyan tovább?

Mi tudunk tenni addig is, amíg megjelennek az új termékszabványok? Próbáljunk felkészülni rájuk!

Ehhez először is meg kell ismerjük az MSZ EN 15804:2012+A2:2020 szabvány módszertanát, végig kell gondoljuk, hogy milyen adatokra, információkra (anyagok, szállítási távolságok, energiafogyasztás, stb.) lesz majd ahhoz szükségünk, hogy ki tudjuk számolni az aszfaltkeverékeink teljes életciklusra vonatkozó környezeti fenntarthatósági teljesítményét.

Ne szégyelljünk tanulni azoktól, akik már előttünk járnak. Ehhez tudom ajánlani az alábbi linkről letölthető anyagot: https://www.asfinag.net/media/gcepvj2r/hintergrundinfo_lcco2.pdf melyet az ASFINAG készített és szabadon elérhető, csak némi német tudás szükséges hozzá.

Olvassuk el és értelmezzük az új 2024/3110 rendeletet, mivel a fentebb leírtakon kívül még több olyan előírást tartalmaz, amelyek korábban nem voltak megkövetelve.

- Ilyenek például:
- Új ember és gép által is olvasható Teljesítmény – és megfelelőségi nyilatkozatok készítése és közzététele.
 - Termékinformációs adatlap, használati utasítás, biztonsági adatlap felülvizsgálata és kiadása.
 - Termékinformációs rendszer kialakítsa, fejlesztése.

Mindezek mellett az új termékszabványok megjelenésekor szükség lesz a vonatkozó Ütügyi Műszaki Előírások felülvizsgálatára is, hogy a szakma egységesen tudjon megfelelni az új követelményeknek.

Karbonlábnyom számítás típusa	Építmények értékelési információi																
	Építmények életciklus információi																Építmények életciklusán túli kiegészítő információi
	A1 – A3			A4 – A5		B1 – B7							C1 – C4				D
	Termékszakasz			Építési szakasz		Használati szakasz							Életút vége szakasz				Újra-hasznosítási szakasz
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Nyersanyagellátás	Szállítás	Gyártás	Szállítás	Építési, telepítési folyamat	Használat	Karbantartás	Javítás	Csere	Felújítás	Üzemeltetési energiateljesítmény	Üzemeltetési vízteljesítmény	Szétválasztás, bontás	Szállítás	Hulladékkezelés	Ártalmatlanítás	Újra-használati, hasznosítási, újra-feldolgozási potenciál
„Bölcsőtől a kapuig modul”	K	K	K	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
„Bölcsőtől a beépítésig modul”	K	K	K	K	K	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
„Bölcsőtől a kapuig C1–C4 és D modul”	K	K	K	N	N	N	N	N	N	N	N	N	K	K	K	K	K
„Bölcsőtől a beépítésig C1–C4 és D modul”	K	K	K	K	K	V	V	V	V	V	V	V	K	K	K	K	K
Bölcsőtől a sírig és D modul”	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K

Alkalmazott rövidítések:

- K – Kötelezően alkalmazandó
- V – Választható, de nem kötelező
- N – Nem alkalmazandó

1. ábra Életciklus számítás típusai

HAPA TAGVÁLLALATAI

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

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

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

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

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

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

Hazai Építőgép Társulás Zrt.
H- 2351 Alsónémedi
Öregországút utca 2405/4 hrsz.
<https://www.epitogep.com>

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

MENTO Környezetkultúra Kft.
H-3526 Miskolc
Mechatronikai Park 14.
<https://mentokft.hu>

Mészáros M1 Útépítő Kft.
H - 8086 Felcsút, Fő utca 65.

MOL Nyrt
H-1117 Budapest
Dombóvári út 28.
<https://mol.hu>

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

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

„SOLTÚT” Kft.
H-6320 Solt
Kecskeméti u. 34.
<http://soltut.hu>

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

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>

**V-Híd Építő Zártkörűen Működő
Részvénytársaság**
H - 1146 Budapest,
Hermina út 17.
<http://hid.hu>

Vértes-Út Kft.
H – 2890 Tata
Takács utca 1.
<https://vertesut.hu>

HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

Andreas Kft.
H-2030 Érd, Rizling u. 26.
sales.andreaskft@gmail.com

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

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

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

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

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

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

**Huntraco Kereskedelmi és
Szolgáltató Zrt.**
H-2040 Budaörs
Kamaraerdei út 3.
<https://www.huntraco.hu/>

HSH-Chemia Kft
H- 1139 Budapest, Pap Károly u. 4.
<https://www.hsh-chemie.com>

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

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

leiCON Kft.
Iroda: 1047 Budapest
Attila utca 12-18. B115
<https://leicon.hu>

Mélyépítő Labor Kft.
H-2142 Nagytarcsa
Csonka János u. 6.
<https://www.facebook.com/melyepitolabor/>

Magyar Közút Nonprofit Zrt.
H-1024 Budapest
Fényes Elek u. 7-13.
<https://internet.kozut.hu/>

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

**MKIF Magyar Koncessziós
Infrastruktúra Fejlesztő Zrt.**
H-2040 Budaörs,
Akron utca 2.
<https://mkif.hu>

**Omya Hungária
Mészkefeldolgozó Kft.**
H-3300 Eger,
Lesrét utca 71.
<https://www.omya.com/>

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

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

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

**Rettenmaier Austria
GmbH & Co.KG**
A-1230 Wien
Rudolf-Waisenhorn-Gasse 18.
https://www.jrs.de/jrs_de/

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

**STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi
és Szolgáltató Kft.**
H – 1043 Budapest
Dugonics u. 11.
<http://www.sta.hu>

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

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

ÚTLABOR Kft.
H- 9151 Abda
Bécsi út 15.
<https://utlabor.hu/>

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



ASZFALT HUNGÁRIA KFT.

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

ELÉRHETŐSÉG: TEL: 0036 29-522-20

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.