

# AZ Aszfalt

A Magyar Aszfaltipari Egyesülés

hopa

hivatalos lapja

XXVIII. ÉVFOLYAM 2021/1. szám



Asphalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban  
újrahasznosítható

Haladunk a teljes digitalizáció felé,  
Haladunk az Aszfalt 4.0 felé.



**2021**  
június

## Tisztelt Cégvezető Kollégák, HAPA tagok, Fiatal Mérnökök!

Tizennegyedik alkalommal invitáljuk, pályakezdő kollégáinkat a HAPA

### Fiatal Mérnökök Fórumára

**2021. október 26.-án kedden,  
a Hotel Holiday Inn (2040 Budaörs Rubik Ernő u. 2),  
konferencia termébe.**

A fórum ezúttal is a közeli és távolabbi jövőt meghatározó szakmai megoldások, illetve tapasztalatok megosztásáról szól majd.

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

Az előadók között, a felkért szakmai zsűri döntése alapján három, a közönség szavazata alapján pedig egy díjat adunk ki, amelyek jellemzően szakmai tanulmányutat, vagy hasonló rendezvényen való térítés mentes részvételt jelentenek.

**Jelentkezés, érdeklődés esetén kérem hívja  
a +36309362743 telefonszámot, vagy írjon  
az [info@hapa.hu](mailto:info@hapa.hu) e-mail címre.**

Üdvözlettel Veress Tibor  
igazgató  
Magyar Aszfaltipari Egyesülés



**A Magyar aszfaltipari Egyesülés  
(HAPA) hivatalos szakmai lapja.**

**Szerkesztőség:**

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

**Alapító főszerkesztő:**

Dr. Bodnár Géza

**Főszerkesztő:** Veress Tibor

**Nyomdai előkészítés és nyomás:**

SILBER-Nyomda Kft. [www.silbernyomda.hu](http://www.silbernyomda.hu)

**Hirdetésfelvétel:**

Magyarországon a szerkesztőségben

**Terjesztés:**

a szerkesztőségben keresztül ingyenesen

ISSN 1217-7830

## TARTALOMJEGYZÉK

**SLIKA\_Slovenko-**

A hőmérséklet és az anyagszegregáció kezelése aszfalt burkolatokon..... 4

**Zsichla László -**

Az aszfalt pályaszerkezetben keletkező feszültségek ..... 24

**Dr. Tóth Csaba Dr. Primusz Péter -**

Modern roncsolásmentes útdiagnosztikai eszközök ..... 33

**Somogyvári László-**

Visszanyert aszfalt keverőtelepi újrahasznosítása hideg eljárással ..... 48

**Asbóth Lajos -**

Minőségirányítás az útépítésben és kapcsolódó létesítményeinél.  
Minőségbiztosítási dokumentumok ..... 53

**Rédling Péter -**

A vágánygeometriai mérővonatok által szolgáltatott adatok alkalmazhatóságának vizsgálata az ív szabályozás kitzési adatainak meghatározására ..... 65

**Gonda Evelyn-**

Közúti vasúti kitérők és vágánykapcsolatok járműfutástechnikai vizsgálata a kocsiszekrényen rögzített okostelefonok szenzoradatainak alkalmazásával (kivonat) ..... 70

**Szarvady Csaba -**

Keverőtelepi meleg aszfaltrecycling ..... 78

## Kedves Kollégák,

lassan véget ér a rémálom, visszatérhetünk a normális életünkhöz. A HAPA is szeretné visszaállítani a szokásos programjait. Ezt a Fiatal Mérnökök Fórumával próbáljuk beindítani, aminek invitálóját a második oldalunkon találhatják. Készülünk a jövő évi februári nemzetközi konferenciánk megtartására is, melynek fő témája az aszfalt 4.0-nak nevezett jövőkutatás, és a jövő kihívásaira való felkészülés. Az újságunk első cikke ennek a témának egy átfogó bevezetése, melyet a Szlovén testvérszervezetünk, a Szlovén Aszfaltipari Szövetség vezetője tollából olvashatnak.

A többi szerzőnk írása is az aszfalt jövőjének egy-egy szeletét próbálja feltárni.

Három fiatal, első cikkés mérnök kolléga diplomatervének ismertetése is bekerült a lapba, akik a MAÚT Nemesdy diplomaterv pályázatán díjazásban részesültek.

Tervezzük a jövő évi tanulmányútjainkat, amelynek során három céget szeretnénk meglátogatni Lengyelországban, és Olaszországban. A részleteket majd 2022 elején ismertetni fogjuk.

Hivatalosan is bejelenthetem, hogy a pályázatunkat elfogadták, és 2024-ben mi látjuk vendégül meg Budapestben a szakmánk legnagyobb európai rendezvényét, a 8. E&E Congress-t.

Végezetül szeretettel köszöntöm az új társult tagunkat, a RODCONT Útügyi Kutató Fejlesztő Kft.-t.



# A hőmérséklet és az anyagszegregáció kezelése aszfalt burkolatokon

## Aszfalt 4.0 - Stratégia gyakorlati megvalósítása

Slovenko Henigman



Igazgató  
Szlovén Aszfaltipari Szövetség



A szlovén aszfaltipar minden nemzetközi eszközt és tudást felhasznál és alkalmaz a gyakorlatban. Az új technológiák segítségével biztosítja a tartósabb, biztonságosabb és kényelmesebb aszfalt felületek építésének feltételeit, a lehető legkisebb szén-dioxid-kibocsátással.

### 1. Bemutatózás

#### 1. 1. Asphalt 4.0 nemzetközi környezetben (az EAPA dokumentumból)

Az útburkolat digitális átalakulása, más néven Asphalt 4.0, intelligens és autonóm rendszerek sorozatára utal, amelyeket nagy adatok, gépi tanulás, mesterséges intelligencia, blokklánc, tárgyak internete (IoT) stb., az aszfaltutak hatékonysága, termelékenysége, minősége, megbízhatósága és fenntarthatósága jellemző. Ez magában foglalja a digitális eszközök használatát a szervezetek hagyományos tevékenységeinek automatizálására, nyomon követésére és fejlesztésére, mint például a gazdálkodás, a bitumenes keverékek gyártása, a szállítás vagy a bedolgozás.

A digitális technológia használatával javítani kell a szervezet tevékenységének fejlődését, segíteni a benne dolgozókat. Ezenkívül megkönnyíti és felgyorsítja a mobilitási ágazat új felhasználói, például az elektromos és az automatizált járművek felé történő átmenetét.

Az **Aszfalt 4.0** koncepció fejlesztése a szervezet minden területét érinti, ezért a legmagasabb szintre kell irányulnia. A koncepció három pilléren alapszik:

##### 1. 1. 1. Digitális technológiák és eszközök

a biztonságos, eredményes és hatékony adatkezeléshez, ideértve azok előállítását, tárolását és továbbítását. Néhány

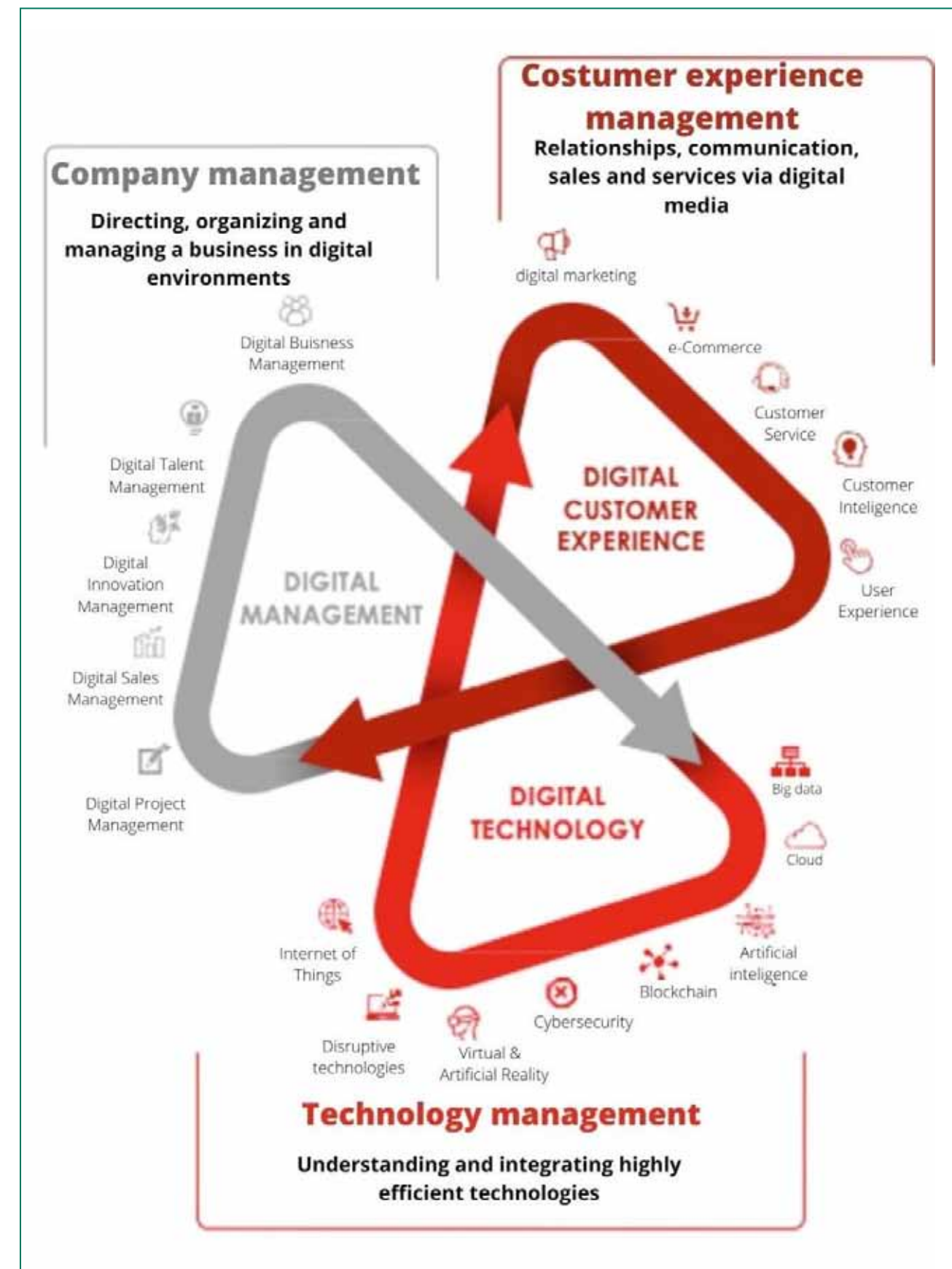
példa erre a felhőalapú tárolás, a tárgyak internete (IoT), a virtuális és a kibővített valóság, a blokklánc, a mesterséges intelligencia, a gép-gép (M2M) kommunikációs rendszerek, a fejlett érzékelők, az autonóm robotok vagy a kibiztonsági protokollok.

##### 1. 1. 2. Intelligens irányítási rendszerek

Képesek feldolgozni az összes kapott adatot és azonosítani a mintákat, ami optimális döntéshozatalhoz vezet, és olyan időkeretben, amely az emberek számára ésszerűen nem lenne megvalósítható. Néhány példa: a digitális üzleti menedzsment, a digitális tehetséggondozás, a digitális innováció menedzsment, a digitális értékesítés menedzsment és a digitális projektmenedzsment

##### 1. 1. 3. Vásárlói tapasztalat

A korábbi technológiák következménye egy dinamikus termelési rendszer, amely folyamatosan alkalmazza az újításokat és újra alkalmazkodik a vevői elégedettség maximalizálása érdekében. Az utakat az építkezés után nem csak átadják, hanem figyelemmel kísérik, kezelik és karbantartják az azonnali beérkező információk és az ebből adódó optimális stratégia alapján. Néhány példa: a digitális marketing, az e-kereskedelem, az ügyfélszolgálat, az ügyfelek intelligenciája és a felhasználói élmény.



1. ábra: A digitális technológiák bevezetése az iparban (Forrás: EAPA <https://eapa.org/asphalt-40/>)



Az Aszfalt 4.0 koncepció kidolgozása legalább 3 nagyon konkrét kritériumot feltételez: átláthatóság, nyomon követhetőség és innováció. A megfelelő Aszfalt 4.0 átalakítási folyamat a szervezet nagyobb hatékonyságát, a kínált termékek és szolgáltatások jobb garanciáit és tartósságát, idő- és erőforrás-megtakarítást, állandó innovációs folyamatot és a vevői elégedettség kezelésének teljesen más módját (vevői tapasztalat) eredményezi.

Az Aszfalt 4.0 koncepció kidolgozása tűnik a legmegfelelőbb válasznak a mobilitási és szállítási ágazatokban az egyre zavaróbb körülményekre és a gazdasági helyzetre. Ez minden kétséget kizáróan izgalmas kihívás.

Ezért fejlesztésének együtt kell járnia az új pályázati rendszerek generációjával, amelyek végül kielégítik az ágazat hatalmas igényeit az innováció, az átláthatóság, a technikai fizetőképesség, a költséghatékonyság és az erőforrások optimalizálása iránt. Ezt el is kell fogadnia az összes érdekelt félnek, akik részt vesznek a közúti élettartam minden szakaszában, a tervezéstől a végső marásig.

Az új koncepció bevezetésének célja az ipar nagyobb hatékonyságának elérése, az érdekelt felek kockázatainak csökkentése, a beágyazott anyagok, struktúrák és szolgáltatások egészének fenntarthatóságának javítása.

Ez időt és erőforrásokat takarít meg, lehetővé teszi a folyamatos innovációs folyamatot és biztosítja az ügyfelek elégedettségének megfelelő kezelését. Mindennek a kulcsa az ügyfél, az infrastruktúra felhasználója.

Az aszfaltipar napjainkban a saját digitális forradalmát éli, kéz a kézben a robotika, a gép-gép kommunikáció, az érzékelők, a big data, a mesterséges intelligencia és az elektromosság legújabb fejlesztéseivel együtt.

Ezekkel a hagyományokkal szakító technológiákkal az ágazat hatalmas előrelépést tesz a termelés hatékonyságának növelése és megsokszorozása érdekében, miközben csökkenti a környezeti hatásokat. Ezen túlmenően javítják az egészséget és a biztonságot az építkezésen, segítve az ágazatot az Európában érvényes összes szigorú szabályozás betartásában. Ezenkívül a gyártók és a kivitelezők első ízben képesek intelligens, összekapcsolt és szinergikus módon magas színvonalú vásárlói élményt nyújtani az út élettartamának minden szakaszában.

Más anyagokkal ellentétben a forró aszfalt keveréke megköveteli az útépitésben részt vevő összes érintett fél (keverőüzem, szállítás, beépítés, tömörítés stb.) együttműködését, hogy csökkentse a folyamat közbeni hőmérsékletvesztéseket. Ez az együttműködés elősegítette, hogy az említett digitális technológiák korábban behatoltak az aszfalt- és útépitésbe, mint a többi építési ágazatba. Ennek eredményeként az aszfaltipar az élen jár, és referenciának tekintik az építőiparban, amikor a digitalizációról van szó.

Ennek ellenére az érdekelt felek közötti együttműködés korántsem optimális. Sok esetben közülük nem képesek magas színvonalú adatok előállítására, feldolgozására vagy továbbítására, így a gyártási lánc leggyengébb láncszeme lesz. Néhány érdekelt fél szintén nem szívesen osztja meg az előállított adatokat, vagy azt nem a többi érintett számára megfelelő közös rendszer és nyelv szerint végzi.

Ez a szakasz bemutatja a piacon már elérhető főbb technológiákat, amelyek megváltoztatják az aszfaltutak gyártásának módját, a kőbányától és az aszfaltüzemtől kezdve a munkahelyig.

## 2. Stratégia az Aszfalt 4.0 koncepció szlovéniai bevezetésére

A szlovén aszfaltipar minden nemzetközi eszközt és tudást felhasznál és alkalmaz a gyakorlatban. Az új technológiák segítségével biztosítja a tartósabb, biztonságosabb és kényelmesebb aszfalt felületek építésének feltételeit, a lehető legkisebb szén-dioxid-kibocsátással. Ezzel biztosítani fogjuk a fenntartható iparágat, ami pozitív hatást jelent az ipari alkalmazottakra, a környezetre és a felhasználókra. Ebben kulcsszerepet játszik az új technológiák bevezetése az aszfalt gyártásában és telepítésében. E cél elérése érdekében a megfelelő műszaki dokumentumok elkészítésén túlmenően megfelelő képzést és oktatást kell biztosítani az ipar valamennyi érdekeltjének, és a felhasználókat a közösségi médián keresztül meg kell szólítani.

A stratégia végrehajtása hatással lesz az ökológiára, a gazdaságra és a társadalom egészére.

### 2. 1. Ökológiai szempont

Az aszfaltfelületeknek vagy az aszfaltburkolat-szerkezeteknek a következő követelményeknek kell megfelelniük környezeti vagy ökológiai elfogadhatóság szempontjából:

- Fenntarthatóság (hosszabb várható élettartam)
- Újrafelhasználás / újrafeldolgozás lehetősége
- A lehető legkisebb energiafogyasztással előállított és kivitelezett aszfaltkeverékek
- A lehető legkisebb szén-dioxid- és egyéb üvegházhatású gázok kibocsátásával előállított és kivitelezett aszfaltkeverékek

### 2. 2. Társadalmi szempont

A felsorolt, ökológiai szempontból kondicionált tulajdonságok mellett az aszfaltfelületeknek társadalmi kritériumoknak is meg kell felelniük.

- Fenntarthatóság (várható élettartam)
- Biztonsági és kényelmi vezetés
- Alacsony zaj

### 2. 3. Gazdasági szempont

A gazdasági szempontokat figyelembe kell venni:

- Költségoptimalizálás
- Költségsökkentés és minimalizálás.

## 3. Új anyagok és technológiák bevezetése a megvalósítási folyamat különböző szakaszaiban

Az új technológiák bevezetése az aszfalt gyártásában és burkolatépítésben egy sor tevékenységből áll, kezdve a tervezéssel, laboratóriumi elemzéssel és teszteléssel, gyártással, szállítással, telepítéssel, tömörítéssel és minőségellenőrzéssel.

### 3. 1. Aszfaltkeverékek /aszfalt rétegek kialakítása

- Az aszfaltkeverékek hagyományos koncepciói (AC, alap, kötő, kopórétegek...)
- Az aszfaltkeverékek új koncepciói (AC, SMA, PA, MA, LN):
- Aszfaltkeverékek újrahasonított aszfalt felhasználásával

- Aszfaltok magas modulokkal
- Csökkentett hőmérsékletű aszfaltok
- Vízvezető és félig vízvezető aszfaltok
- Rostos aszfaltok
- Aszfaltok gumival modifikálva
- Természetes bitumenű aszfaltok
- Aszfaltok viszkozitást csökkentő adalékokkal és keverékekkel a jobb tapadás érdekében...

### 3. 2. Laboratórium (elemzések és vizsgálatok)

- Hagományos Marshall-teszt módszerek
- Dinamikus vizsgálatok (valós körülmények szimulálása a laboratóriumban)
- felületi réteg: merevség, fáradtság, alacsony hőmérsékletű vizsgálatok, kerék nyom vizsgálatok
- kötőanyag réteg: merevség, fáradtság, kerék nyom vizsgálatok
- alapréteg: merevség, fáradtság, kerék nyom vizsgálatok

### 3. 3. Aszfaltgyártás

- Hagományos aszfaltkeverők
- „Intelligens” aszfaltüzemek
- digitalizálás az üzem minden szegmensében
- az aszfaltgranulátum felhasználásának technológiája
- technológia a termelési hőmérséklet csökkentésére
- keverő alkalmazása tétele minden típusú adalékanyag hozzáadására

### 3. 4. Aszfaltkeverékek szállítása

- Szállítási és adagolási technológia az anyagszegregáció megakadályozására (toló pótkocsi),
- Szállítási és adagolási technológia a hőmérséklet-szegregáció megakadályozására (toló pótkocsi),
- Szigetelt keszönök használata az aszfaltadagoló használatával kapcsolatban a telepítés során,
- Digitális megfigyelés és a szállítás logisztikai irányítása.

### 3. 5. Aszfalt burkolat

- Az aszfaltréteg egyenletességének biztosítására szolgáló technológiák („big sky”),
- Technológia a lefektetett réteg hőmérsékletének ellenőrzésére (road scan),
- Digitális monitorozás és az aszfaltkeverékek (pl. „Vitos”) egyenletes ellátásának biztosítása,
- gépészeti technológia az anyag szétválasztódásának megakadályozására (aszfaltkeverék-adagoló vagy tolási technológiás pótkocsi alkalmazása),
- Beépítési technológia a hőmérséklet-szegregáció megakadályozására (aszfaltkeverék-adagoló vagy toló pótkocsi).

### 3. 6. A réteg tömörítése

- Aszfalt folyamatos ellenőrzésének technológiái (»aszfaltkezelő«),
- Technológia a tömörítő rezgések irányának és amplitúdójának (oszilláció) beállításához.

### 3. 7. Minőségellenőrzés

- egyenletesség mérések (IRI),

- a sűrűdési tulajdonságok folyamatos mérése (Scrimtex),
- folyamatos zajmérés (CPX),
- Folyamatos hőmérsékleti mérések (útszkennelés),
- Folyamatos rétegvastagság mérések (Georadar),

## 4. Aszfaltkeverék szegregáció

Az aszfaltkeverékekben történő szétosztályozódás az összetevők homogenitásának hiányaként határozható meg, olyan mértékben, hogy az aszfaltkeverékek gyorsabb károsodását eredményezi. Az összetevők bitumenes kötőanyag, szemcsekeverék, adalékanyagok és hézagok. Három elkülönítési típust sorolunk fel, amelyek aszfaltkeverékekben fordulhatnak elő a burkolat építése során:

- anyag szegregáció,
- hőmérséklet egyenetlensége,
- a kötőanyag elkülönödése az aggregátumtól.

Az elkülönítés minden típusa kihívást jelent az aszfaltkeverékek gyártása, szállítása és elhelyezése terén. A kibocsátás és az energiafogyasztás csökkentésének stratégiai céljainak elérése érdekében a legnagyobb figyelmet a hőmérséklet-szegregációra kell fordítani.

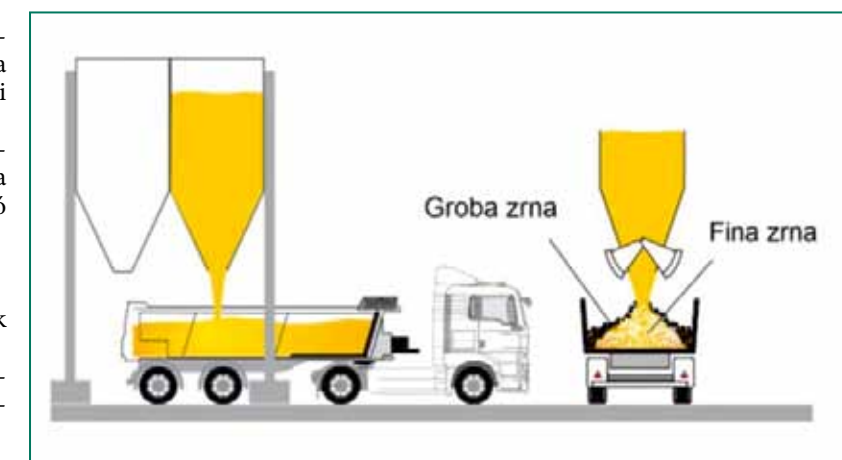
### 4.1. Anyag szegregáció

Az anyagszegregáció az adalékanyagok egyenetlen eloszlását jelenti az kész burkolat aszfaltkeverékében. Gyártás, szállítás és beépítés során fordul elő. A helyileg változó területeken különbözik a durva és finom szemcsék aránya. Azokon a területeken, ahol a durva szemcsék aránya nagy, általában túlzott a hézagtartalom és csökkent a bitumen kötőanyagának aránya. A későbbiekben megmutatkozó következmények a nedvesség okozta károk, a kátyúk kialakulása és a repedések kialakulása a fáradás és az adalékanyag feldurvulása miatt.

Ezzel ellentétben, ahol a finom szemcsés részecskékkel rendelkező területeken csökkent a hézagtartalom létrejön a bitumen kötőanyag túlzott aránya, és ezért azok a helyek hajlamosak a keréknyom megjelenésére és a bitumenkötőanyag „felzsírosodására” az útfelületen.

A 2. ábrán láthatjuk az anyagszegregáció előfordulását az aszfaltkeverék teherautóra történő feltöltése során.

A 3. ábrán ez a fajta szegregáció látható az elhelyezett aszfaltkeveréken.



2. ábra: A durva és finom szemcsék szétválasztása aszfaltkeverék teherautóra rakása közben (Rošar, 2020).

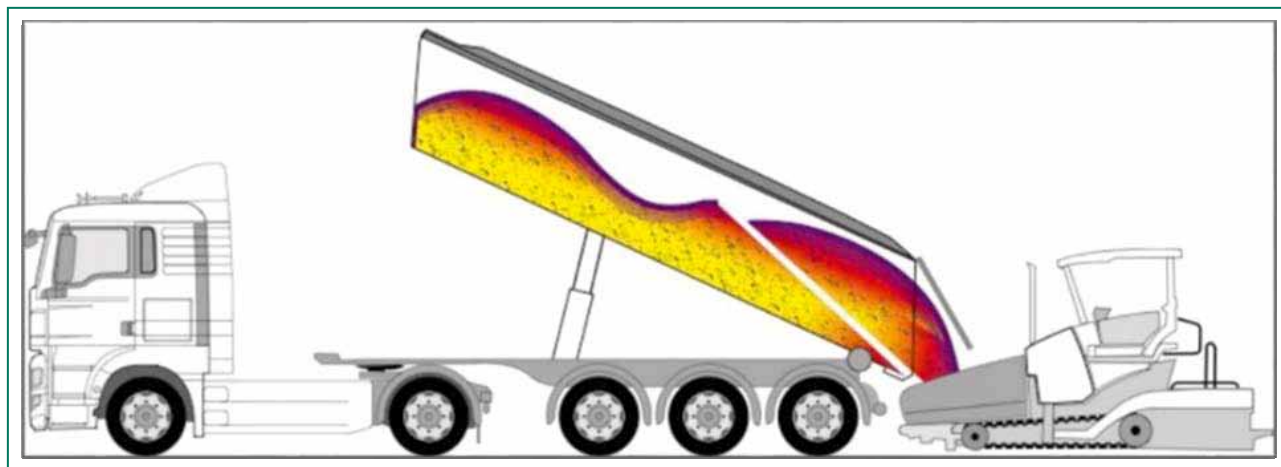




3. ábra: Példa a durva szemek nagy arányú anyagszegregációjára (Rošer, 2020).

#### 4.2. A kötőanyag elkülönülése az aggregátumtól

Az aggregátum és a bitumenes kötőanyag közötti szétválasztódás a bitumenes keverék szállítása és bedolgozása során történő „leszivárgása” miatt következik be. Ilyen elkülönítés általában a masztix aszfalt (SMA) aszfaltkeverékében van, amely nagy mennyiségű bitumenes kötőanya-



4. ábra: A kihűlt rész megcsúszása az aszfaltkeverék teherautóról a terítőbe történő kirakodásának kezdetén (Fliegl Bau- und Kommunaltechnik GmbH, 2019).



5. ábra: Aszfaltkeverék a kirakodás előtt (a) normál kép és (b) hőkép.

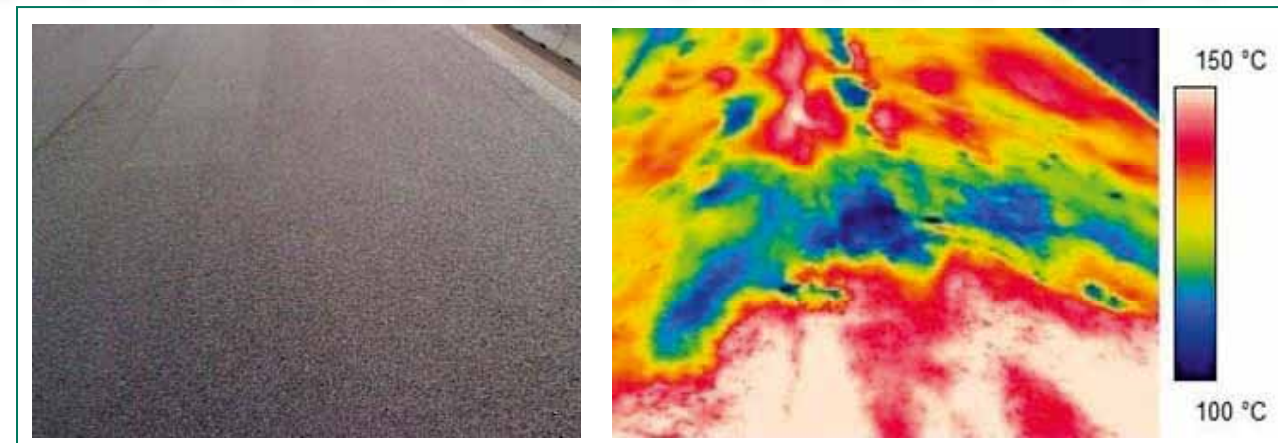
got tartalmaz. Az ilyen típusú szegregáció stabilizálása és megakadályozása érdekében cellulózrost-stabilizátort adunk hozzá (Henigman et al., 2016; Stroup-Gardiner, Brown, 2000).

#### 4.3. Hőmérséklet-elkülönülés

A hőmérséklet-szegregáció az aszfaltkeverék szállítása és beépítés közbeni lehülése miatt következik be, ami egyetlen hőmérsékletre vezet az elhelyezett rétegben. A legkritikusabbak az alacsony hőmérsékleti szintek, amelyek nem teszik lehetővé az aszfaltkeverék megfelelő tömörítését. Így növekszik az aszfalt hézag tartalma, károsítja az aszfaltkeverékek minőségét és gyorsabb romlásához vezet. (Willoughby in sod., 2001; StroupGardiner, Brown, 2000).

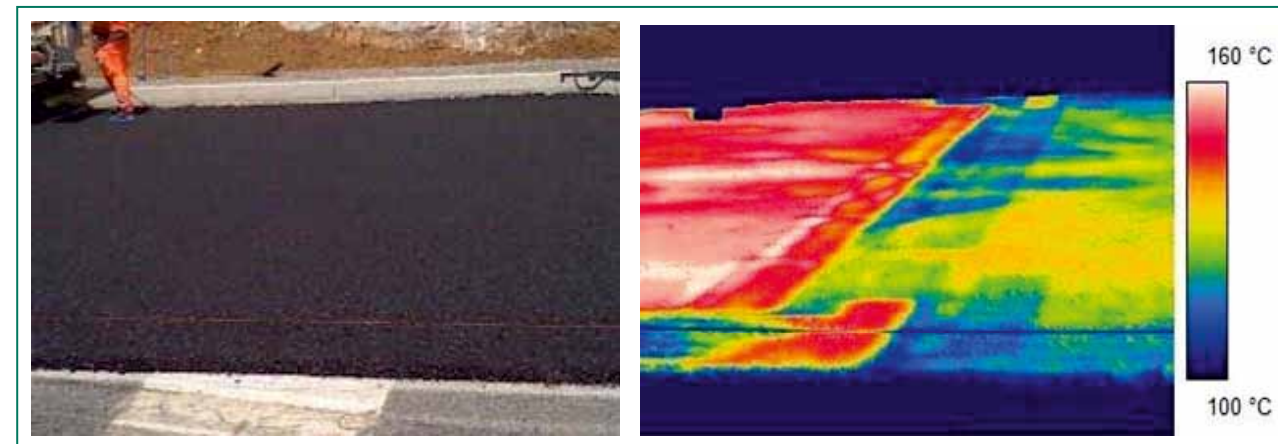
A hőmérséklet-elkülönülés két tipikus fajtáját különböztetjük meg, amelyek az aszfaltkeverék szállítása és a finisher mozgása miatt következnek be.

Első példában a szállítás során az aszfaltkeverék lehül a nyitott tartály felületén és oldalán. A billentéssel történő kirakodás kezdetén nagyobb mennyiségű felületi lehűtött réteg csúszik a finisherbe, és ez a helyileg hűtött lefektetett aszfaltkeverék „szigetet” okoz (4-6. Ábra). A teherautók cseréje során ilyen foltok fordulnak elő az egész aszfaltozott területen. Ez az úgynevezett ciklikus szegregáció.



6. ábra: Az aszfaltkeverék kihűlt területének előfordulása a teherautócserénél, amelyet egy szabályos kép és egy hőkép mutat.

A második esetben egyetlen hűlésről van szó a finisher mozgása miatt, ami általában kamioncsere esetén fordul elő, vagy amikor a finisher aszfaltkeverék szállítására vár. Közvetlenül a finisher mögött van egy szakasz, amelyet a hengerek nem tudnak elérni: Emiatt a keverék itt elkezd hűlni, mielőtt tömörítenék. A 7. ábrán van egy példa a beépített aszfaltkeverék hűlésére a 10 perces finisher megállás miatt.



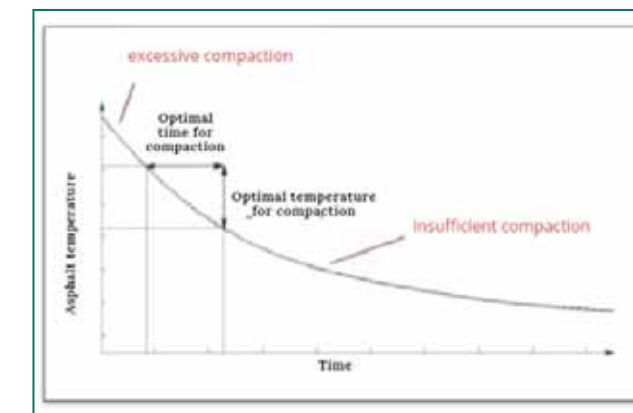
7. ábra: Az aszfaltkeverék kihűlt területének előfordulása a szabályos kép és a hőkép által bemutatva a burkolatépítés állása miatt.

#### 4.3.1. A hőmérséklet-szegregáció hatása az aszfaltkeverékekre

Az aszfaltkeverékekben a bitumen viselkedése a hőmérséklet függvényében változik, mert melegedéssel a viszkozitás csökken. A bitumen alacsonyabb hőmérsékletű szilárd anyagból magasabb hőmérsékleten folyékony anyaggá változik. Az előállítás szempontjából a bitumennek elég melegnek kell lennie, megfelelő viszkozitásúnak kell lennie, és keverés közben körülvenni az adalék szemcséket. Ezenkívül a bitumen hőmérsékletének elég magasnak kell lennie az aszfaltkeverék beépítése során, hogy a megfelelő tömörítés lehetséges legyen.

Az aszfaltreteg tömörítése során a hőmérséklet az egyik kulcsfontosságú tényező, mivel nagyban befolyásolja a bitumen és következésképpen az aszfaltkeverékek viselkedését. A különböző típusú bitumenek miatt az egyes aszfaltkeverék-típusok előírt optimális beépítési hőmérsékletük, és a megfelelő tömörítés lehetővé válik. Ha az aszfaltkeverék hőmérséklete túl magas, akkor a bitumen alacsony viszkozitása miatt túlzott tömörödés léphet fel, de ha túl alacsony a hőmérséklet, akkor nehéz vagy akár lehetetlen megfelelő

tömörítést elérni (8. ábra). A hőmérséklet-szegregációban az alacsony hőmérsékletek problémája jelentkezik, ami egyes területeken az aszfaltkeverékek elégtelen tömörítéséhez vezet (Bijleveld et al., 2012; Willoughby et al., 2001).



8. ábra: Az aszfaltkeverék optimális tömörítési ideje és tömörítési hőmérséklete (Bijleveld et al., 2012: 3. o.).



A tömörség a lefektetett aszfaltkeverék minőségének egyik legfontosabb mutatója, mivel közvetlenül befolyásolja az olyan tulajdonságokat, mint a merevség, a fáradási tulajdonságok, a deformációval szembeni ellenállás, a repedésállóság, a surlódási ellenállás, a permeabilitás és az öregedési ellenállás (Bijleveld et al., 2012 ; Willoughby és mtsai., 2001).

Az optimális tömörség elérésével az optimális tulajdonságok is elérhetőek, hőmérséklet-szegregáció esetén a tulajdonságok az elégtelen sűrűség miatt romlanak. Kimutatták, hogy a hőmérséklet-szegregáció az aszfaltburkolat egyik



9. ábra: A víz stagnálása esős esemény és a burkolat romlása miatt a hőmérséklet-szegregáció miatt (Pavement Interactive, 2019; Sebesta, Scullion, Saarenketo, 2013: 9. o.).

Ciklikus hőmérséklet-szegregációnál az elkülönített területek lokálisan fordulnak elő, és csak a burkolt felület bizonyos részét (a legrosszabb esetben a felület felét) fedik le. Folyamatos előfordulásuk miatt azon-

ban az útburkolat teljes szakaszának élettartamát csökkentik, amelyhez a korai karbantartást teljes mértékben el kell végezni (Willoughby et al., 2001).



10. ábra: Példák a ciklikus hőmérsékleti szegregáció következtében bekövetkező aszfaltkeverék-romlásra (Brock, Jakob, 2019: 19. o. ; Hedderich, 2014: 5. o.).

A hőmérséklet-szegregáció mértéke a hőmérséklet-különbségek nagyságától függ, a nagyobb különbségek nagyobb negatív hatással bírnak. Erősen szegregált területeken az aszfalt tulajdonságai olyan mértékben romolhatnak, hogy a magmintavétel meg-

valósításának részeként a kiemelés során a minták szétesnek (11. ábra) (Stroup-Gardiner, Brown, 2000). Bode (2012) kijelenti, hogy az aszfaltkeverékek élettartama a szegregáció miatt több mint a felére csökkenhet.

leggyakoribb problémáját képviseli, amely jelentős káros hatással van az aszfaltburkolatok tartósságára (Sebesta, Scullion, Saarenketo, 2013; Stroup-Gardiner, Brown, 2000).

A 9. ábra a víz stagnálását mutatja egy esős esemény után, amely egy elkülönített helyen következett be az aszfalt fokozott permeabilitása miatt. A nyitott szerkezet miatt a víz behatolása mellett a levegőhöz való hozzáférés is biztosított, ami fokozza a bitumen oxidációját és megkeményedését. A 9. ábra az útfelület repedések és szemcsék képződésének romlását mutatja, amelyek az aszfaltkeverék hőmérséklet-szegregáció miatti romlásának jellegzetes formái.



11. ábra: A vett magminta szétesése a magas szintű szegregáció miatt (Von Quintus, Reiter, 2018: 5. o.).

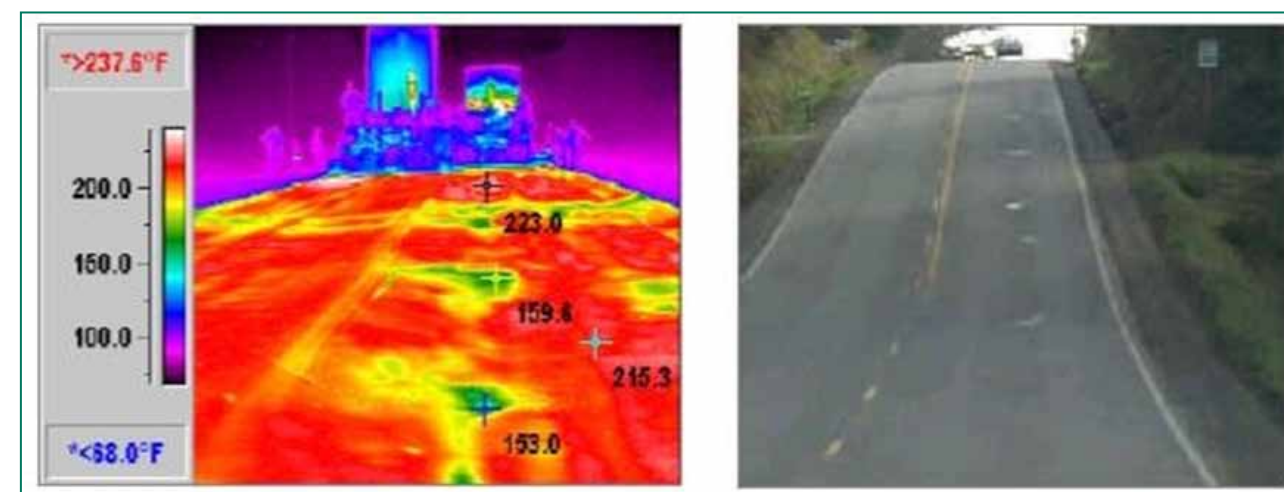
#### 4.3.2. Az aszfalt hőmérsékletének mérése a burkolatnál

Korábban azt gondolták, hogy az aszfalttrétegben az inhomogén helyek előfordulásának egyetlen oka az anyagi szegregáció. A 20. század utolsó évtizedében felfedezték a hőmérséklet-szegregációt. Az aszfaltkeverékek tulajdonságainak romlására gyakorolt hatás felfedezését az aszfaltkeverék alacsonyabb hőmérsékletétől függően először kézi hőmérsékletmérőkkel határozták meg, később azonban jobb és kényelmesebb módszereket kezdtek keresni. Az egyik ilyen módszer az infravörös (IR) termográfia használatának bizonyult, amelyet számos tanulmány megerősített, mint a hőmérséklet-különbségek kimutatásának hatékony technikáját (Sebesta, Scullion, Saarenketo, 2013; Hribar, 2008).

Az infravörös termográfia az összes test által kibocsátott infravörös sugárzás vétele alapján működik, abszolút

nulla ( $T > 0$  K) hőmérséklet felett. A kapott sugárzástól függően meghatározzuk a test hőmérsékletét, és az infravörös sugárzás nagyobb intenzitású testeinek hőmérséklete magasabb. Az ilyen mérések végrehajtásának alapvető eszköze egy infravörös hőmérő vagy pirométer, amelyet szpotmérésre szánnak. Egy másik, erőteljesebb eszköz egy infravörös kamera vagy hőkamerás kamera, amely lehetővé teszi a mért terület szélesebb körű rögzítését, és az eredmény egy termogramnak nevezett termográfiai kép.

Az infravörös sugárzáson alapuló hőmérsékletmérő eszközök, különösen a hőkamerák lehetővé tették a hőmérséklet-szegregáció mélyreható tanulmányozását. Példaként a 12. (a) ábra egy termogramot mutat az elhelyezett aszfaltkeverék kihűlt területeiről, a 11. (b) ábra pedig egy sima fényképet mutat a víz stagnálásáról a rosszul tömörített területeken (Willoughby et al., 2001).

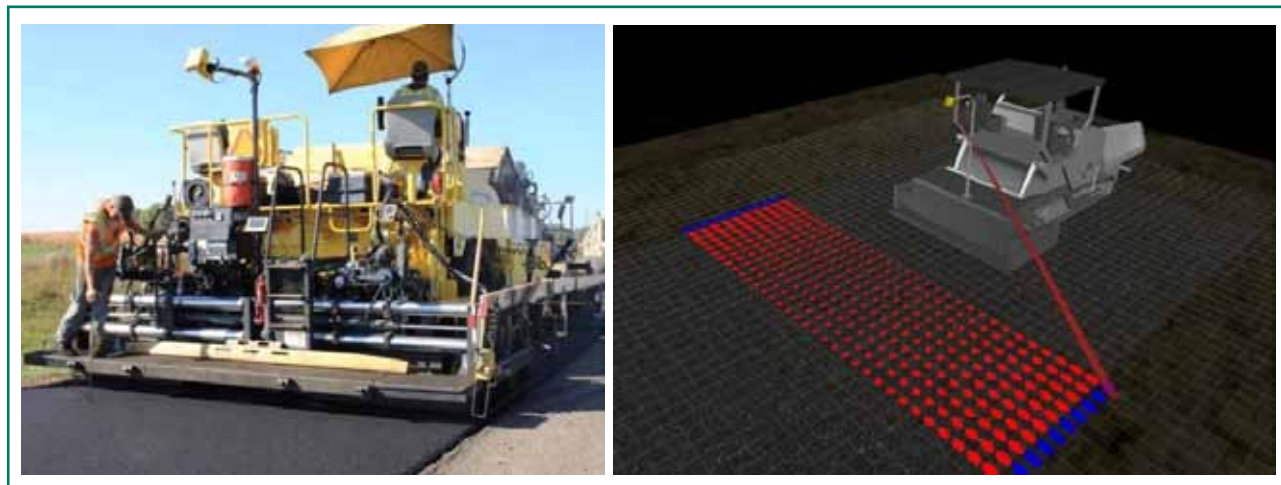


12. ábra: Hőkamerával felvett hűtött helyek és a víz stagnálása rosszul tömörített helyeken, normál kamerával felvéve (Willoughby et al., 2001: 38. o.).



A hőkamerás kamera előrehaladt a hőmérséklet-szegregáció tanulmányozásában, de a mérések manuális elvégzése miatt nem hasznos az aszfaltmunkák következetes nyomon követéséhez.

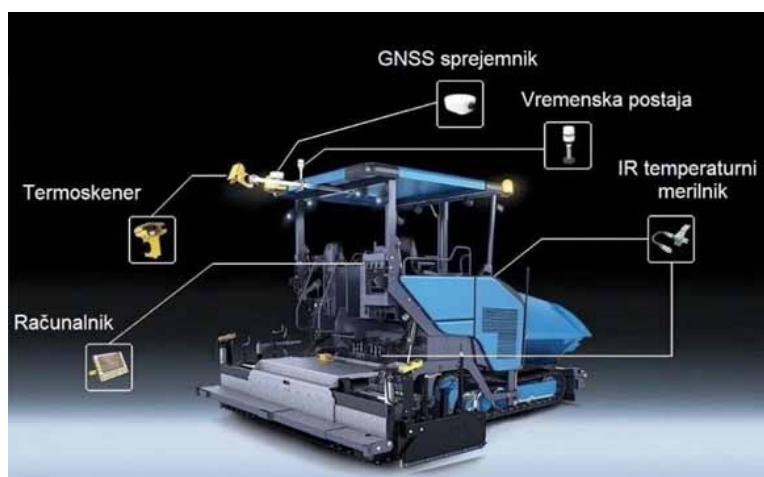
A mérőberendezések terén elért fejlesztések innovatív megoldást eredményeztek az infravörös hőolvasóval, amelyet a 13. ábra mutat. A kompakt kialakítás miatt az ilyen



13. ábra: Az IR hőmérséklet-leolvasó és az adatok rögzítésének módja az IR-hőmérséklet-leolvasóval (TXAPA, 2019: 18. o.; ForConstructionPros, 2015).

A folyamat automatizálása az aszfaltkeverék hőmérsékletének mérése mellett egyéb adatok monitorozását is magában foglalta. A 14. ábra a következő alkatrészeket lefedő mérőberendezést mutatja (MOBA Mobile Automation AG, 2020):

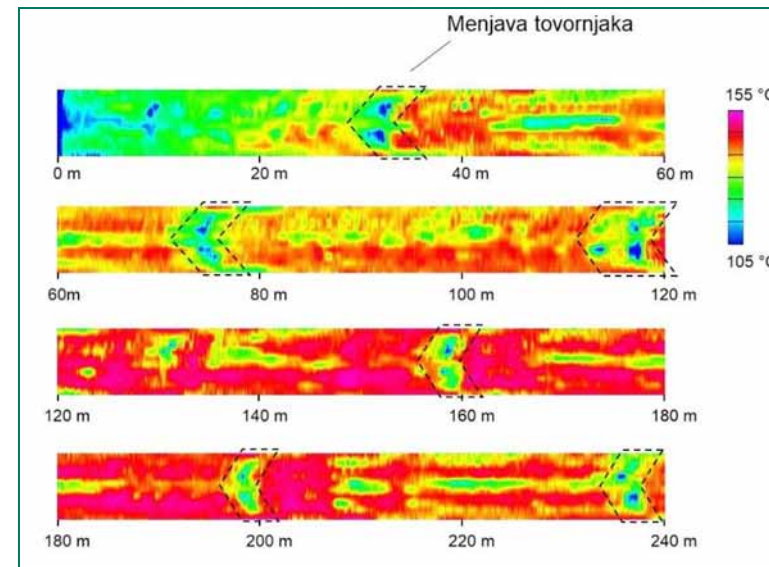
- számítógépes - adattárolás és valós idejű figyelés,
- termoszkennerek - az aszfaltkeverék hőmérsékletének mérése,
- GNSS vevő - a mérési helyzet meghatározása,
- meteorológiai állomás - a levegő hőmérsékletének, páratartalmának, szélességének és légnyomásának mérése, és
- IR-pontmérő a helyzet megváltoztatásának lehetőségével - az aszfaltkeverék hőmérsékletének további mérése és / vagy az aljzat hőmérsékletének mérése.



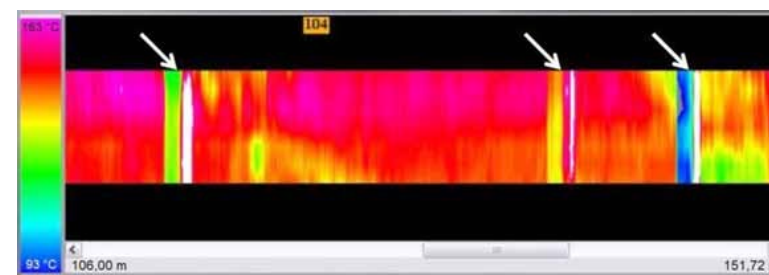
14. ábra: Adatok felvételére szolgáló mérőeszközök aszfaltkeverék beépítése során (MOBA Mobile Automation AG, 2020).

mérőberendezések kevesebb helyet foglalnak el, ráadásul a készülék magasabb pozíciója következtében, a munkaválalók akadálytalan mozgása a burkolat mögött nem jelent problémát (TxDOT, 2019). A méréseket a teljes felületen folyamatosan végzik, létrehozva egy pontmérési mezőt, amelyet grafikus ábrázolással alakítanak át a hőmérsékleti mező termográfiai képe formájában (Joseph Vögele AG, 2019a).

A leírt mérőrendszerek lehetővé teszik a pontos hőmérséklet-ellenőrzést és a mérések teljesítményének áttekintését. A 15. és 16. ábra mutatja a hőmérsékleti mezőket, amelyek a hőmérséklet-különbségek mindkét tipikus okát mutatják, nevezetesen a ciklikus szegregációt és a finisher leállások miatti szegregációt. Ciklikus szegregációban a lehűlt helyeknek jellegzetes „V” alakjuk van, és a teherautók megközelítőleg 40 méterenként történő cseréjénél a 14. ábrán jelennek meg, míg a lehűlt helyek téglalap alakúak, amikor a finisert megállítják (Milanović, Domitrović, Rukavina, 2012).



15. ábra: Hűtött helyek a jellegzetes „V” alakú hőmérsékleti szegregáció következtében (Sebesta et al., 2006: 7. o.).



16. ábra: Téglalap alakú hűtött helyek a finisher megállásai miatt (Rand, 2010: 7. o.).

## 5. Szabályzat

### 5.1. Szlovéniában hatályos előírások

Szlovéniában az aszfaltburkolat ellenőrzését az utakra vonatkozó műszaki előírásokban (TSC) leírt eljárások szerint hajtják végre. Az aszfaltkeverékek hőmérsékletével kapcsolatos eljárásokat a TSC 06.300 / 06.410: 2009 műszaki leírás írja le és az aszfaltretek építésének műszaki feltételei (MzP, DRSC, 2009).

A TSC meghatározza, hogy az aszfaltkeverékek szállításához megfelelő járműveket - billenő teherautókat - kell használni, megfelelő védelemmel a hűlés, a csapadék és a szennyezés ellen. 70 km-nél hosszabb távolságok esetén ajánlatos az aszfaltkeverékek szállításához termokasznival rendelkező járműveket használni.

Az aszfaltburkolatot csak megfelelő időjárási körülmények között lehet elvégezni. A levegő és az aljzat megfelelő hőmérséklete:

- legalább 3 ° C kopó rétegek esetén, és
- legalább 0 ° C kötőanyag és alapréteg esetén.

A TSC előírja, hogy az aszfaltkeverék hőmérsékletének a beépítés során lehetőség szerint az ajánlottan kell lennie. A hőmérsékletet a bitumen típusának megfelelően határozzák meg, és az 1. táblázat mutatja, amelyben az ajánlott értéket és a minimálisan megengedett értéket írják elő. Hideg és szeles időjárás esetén, valamint kézi burkolatépítés esetén a minimális hőmérsékletnek 10 ° C-kal magasabbnak kell lennie az előírt minimális értéknél. Az aszfaltanyag maximális hőmérséklete 20 ° C-kal magasabb lehet az ajánltnál. A TSC meghatározza a hőmérsékleti határértékeket, miközben nem ír elő eljárásokat a hőmérséklet-szegregáció detektálására és értékelésére (MzP, DRSC, 2009).

A hőszkenner használata hatékony módszernek bizonyult. Az automatizálás mellett a következő előnyökkel jár (Joseph Vögele AG, 2019a; Sebesta, Scullion, Saarenketo, 2013):

- érintésmentes és roncsolásmentes módszer,
- lehetővé teszi az elhelyezett aszfaltkeverék teljes felületének mérését,
- beleértve a GNSS vevő használatát, meg lehet határozni az egyes pontok helyét a hőmérséklet mezőben. Ez lehetővé teszi a potenciálisan gyenge pontok utólagos ellenőrzését, a mérések pontosak, mivel a termoszkennerek  $\pm 2$  ° C pontosságot érnek el, és
- a mérések eredményei azonnal elérhetők, ami lehetővé teszi a vállalkozók és a felügyelők számára, hogy folyamatosan figyelemmel kísérjék az elhelyezést, és intézkedéseket tegyenek szabálytalanságok esetén.

Az infravörös termográfiai mérések hátránya azonban, hogy a hőmérsékletet csak az aszfaltkeverék felületén mérik (Stroup-Gardiner, Brown, 2000). A finisher leállások miatti hőmérséklet-szegregáció esetén, ahol a mérések időbeli elmaradása van, különbségek vannak a mért felületi hőmérséklet és az aszfaltkeverék belseje közötti hőmérséklet között, mivel az aszfaltkeverék gyorsabban hűl a felszínen, mint belül. Megfelelő számításokra lenne tehát szükség a tényleges belső hőmérséklet meghatározásához (Ter Huerne, Dorée, Miller, 2009).



1. táblázat: Az aszfaltkeverék ajánlott és minimális elhelyezési hőmérséklete (MzP, DRSC, 2009: 12. o.).

Bitumen típusa	Az aszfaltkeverék ajánlott hőmérséklete a beépítés során (° C)	Az aszfaltkeverék minimális hőmérséklete a finisher mögött (° C)
B 160/220	135	110
B 100/150	140	115
B 70/100	145	120
B 50/70	155	130
B 35/50	165	140
PmB	A PmB gyártó utasításai szerint	A PmB gyártó utasításai szerint

Az aszfaltkeverék hőmérsékletének mérését a belső és külső minőség-ellenőrzés részeként hajtják végre, a mérések gyakoriságát pedig a 2. táblázat mutatja. A TSC meghatározza, hogy a méréseket a SIST EN 12697-13 (MzP) szabványnak megfelelően kell elvégezni. , DRSC, 2009).

2. táblázat: Hőmérsékletmérések gyakorisága belső és külső vezérléshez (MzP, DRSC, 2009: 15–16.)

Az aszfaltkeverék típusa	Belső minőségellenőrzés	Külső minőségellenőrzés
Kopóréteg	500 t	2500 t
Kötő- és alaprég	1000 t	4000 t

A SIST EN 12697-13 szabvány két mérőeszköz, egy kontakthőmérő és egy infravörös (IR) hőmérő használatát írja le.

Az aszfaltkeverék hőmérsékletének mérését kontakthőmérővel végezzük a teherautón és a terítőgép mögött. A tehergépkocsin mindkét oldalon legalább négy különböző helyen kell méréseket végezni. A hőmérő szondát legalább 100 mm mélyre és legalább 500 mm-re kell behelyezni a pótkocsi széleitől. Az eredményt az összes mérés átlagaként kell kiszámítani.

A burkolat mögött meg kell mérni az aszfaltkeverék hőmérsékletét egy szondával a réteg közepére. Legalább négy mérést el kell végezni a tömörítés előtt vagy közben, és az eredmény a mért értékek átlagát jelenti (SIST, 2018).

Az infravörös hőmérővel végzett méréseket a tehergépkocsin lévő aszfaltkeverék felületén és a finisher tartályban végzik. A teherautón mindkét oldalon méréseket kell végezni legalább négy különböző helyen, amelyeknek legalább 500 mm-re kell lenniük a rakomány szélétől. Az eredményt az összes mérés átlagaként kell kiszámítani.

A finisher tartályában a hőmérsékletet úgy mérik, hogy az IR hőmérőt a mozgó aszfaltkeverékbe irányítják. Legalább négy mérést kell elvégezni, és az eredmény a mért értékek átlagát képviseli (SIST, 2018).

## 5.2. Amerikai előírások

Az USA-ban hatékonyságuk miatt megkezdtek az IR rendszerek bevezetését a vezérlési folyamatba. Egyes államok kidolgozták a specifikációkat és elkezdtek használni ezeket a rendszereket. A témában workshopok és oktatási projektek zajlanak sok államban (AASHTO, 2019).

Az Egyesült Államokban a leggyakrabban használt specifikáció a Tex-244-F, amelyet a Texasi Közlekedési Minisztérium (TxDOT) fejlesztett ki. A specifikáció előírja az eljárást hőkamerával és hőszkennerrel (Von Quintus, 2017).

A Tex-244-F specifikáció kidolgozása előtt tanulmányokat hajtottak végre, amelyekben a hőmérséklet-különbségek

hatását vizsgálták a kihelyezett aszfaltkeverék sűrűség-ingadozásaira. A washingtoni Közlekedési Minisztérium keretein belül végzett kutatások azt mutatták, hogy a 14 ° C feletti hőmérséklet-különbséggel érintett területek 89% -a nem felelt meg a burkolt aszfalt egységes tömörségének specifikációjában (Willoughby et al., 2001). Hasonló következtetésekre jutottak a Texas Közlekedési Intézetben is, ahol a kutatás megállapította, hogy az aszfaltkeverék jelentős változásai várhatóak 14 ° C-nál nagyobb hőmérséklet-különbségeknél (Sebesta, Scullion, 2002).

A texasi Közlekedési Minisztérium néhány engedményt ír elő a termoszkener használatának ösztönzésére aszfaltburkolatok építésekor. A szkennerek használata esetén a tömörség profilokat nem kell megvalósítani (méréselt és magas szegregáció esetén sem), a vállalkozó pedig aszfaltkeverékeket alacsonyabb hordozó felület hőmérsékleten, amely legalább 0 ° C lehet, különben 7 és 16 ° C között lehet bedolgozni, aszfaltkeverékek típusától függően. Ezenkívül a kivitelezőnek nem kell mérnie az aszfaltkeverék hőmérsékletét, de az átvételkor rögzítenie kell az állomást az egyedi teherautók mérhetősége számára. Nagy szegregáció esetén azonban a folyamat folytatásával le kell állítani a bedolgozást és intézkedéseket kell hozni a magas szegregáció kiküszöbölésére (Carrasco, 2016; TxDOT, 2014).

## 5.3. Skandináv szabályozás

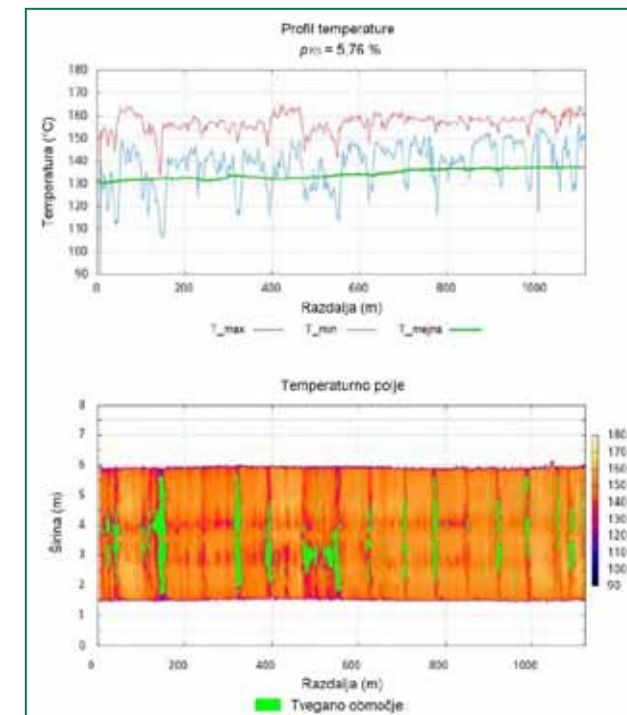
Skandináviában részletesebben kezdték vizsgálni a hőmérséklet-szegregációt az aszfaltkeverékek szállítóhajókon történő szállításakor bekövetkező nagy hőmérséklet-vesztések miatt. Európában eddig egyedülként Svédország és Norvégia is kifejlesztett egy módszert a hőmérséklet-szegregáció értékelésére.

A módszer hőszkenner használatát foglalja magában, és a hőmérséklet-szegregáció értékelése a határhőmérsékleten alapul, amelyet jellemzően a hőmérsékleti mező mentén határozunk meg.

A határhőmérséklet meghatározásához a TDS átlag-

hőmérsékletet „csúszó eszköz” módszerrel számoljuk. Az alsó határértéket a T<sub>min</sub> egyenlet alapján számoljuk, határ = 0,9 \* TDS.

Az ezen érték alatti hőmérsékletű területeket kockázati területekként jelölik, és a teljes területhez viszonyított arányukat jelölik kockázati területnek (pTO). A 16. ábra a burkolt aszfaltkeverék hőmérsékleti profiljának példáját mutatja, amely a T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub> értékeket mutatja a T<sub>limit</sub>-ben, és a kapcsolódó hőmérsékleti mezőt jelzett kockázati területekkel (Andersson, 2019; Telle, 2016).



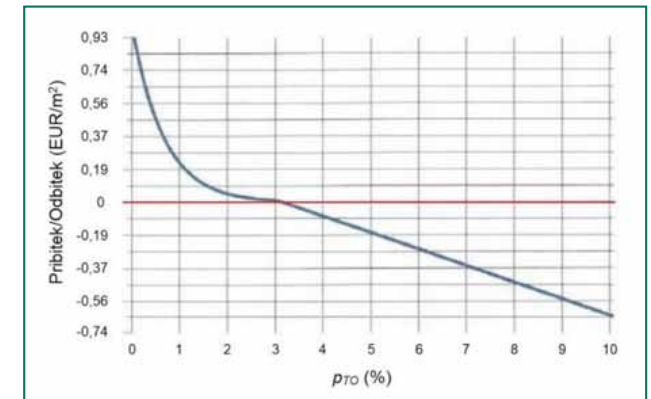
17. ábra: A hőmérsékleti grafikonok és a kockázati területek megjelenítése

Évek óta tartó kutatások Svédországban azt mutatták, hogy jó kapcsolat van a kockázati területek és az aszfaltretek összeomlása között (Telle, 2016). Andersson becsléseket ad az aszfaltburkolat hőmérséklet-szegregációs kockázati területeinek pTO-értékeiről:

- > 11% - nagyon gyenge,
- 6% - gyenge,
- 2,4% - közepes,
- 1% - jó és
- 0% - nagyon jó.

Svédországban és Norvégiában bevezették a büntetési és jutalomrendszert a pTO értékek alapján. Ennek célja a vállalkozók ösztönzése olyan technológiák és gépesítések használatára, amelyek alacsonyabb hőmérsékleti elkülönítést tesznek lehetővé az aszfaltburkolási folyamatban.

A Svédországban alkalmazott kritériumokat a 18. ábra mutatja, és előírja, hogy 3% alatti pTO esetén bónuszt, 3% felett pedig büntetést kapnak. Az értéket 1 m<sup>2</sup>-rel határozzuk meg, majd megszorozzuk a teljes térburkolási területtel (Olsson, 2018).



18. ábra: A bónusz / büntetés meghatározásának kritériuma a svéd szabályozás szerint (Olsson, 2018: 8. o.).

Norvégiában a bónusz és a büntetések kritériumait kissé eltérően határozzák meg. A kockázati terület magasabb százalékos aránya mellett a vállalkozónak hosszabb garanciális időszakot is fel kell ajánlania.

## 6. A hőmérséklet-szegregáció kezelése

Ebben a fejezetben olyan intézkedéseket mutatunk be, amelyek javítják a hőmérséklet-szegregációt:

- hőtárolók és teherautók szigetelt kesztonokkal,
- Push-Off technológiájú teherautók,
- Az aszfaltkeverék adagolása adagolóval.

### 6.1. Hőtárolók és teherautók szigetelt kocsiival

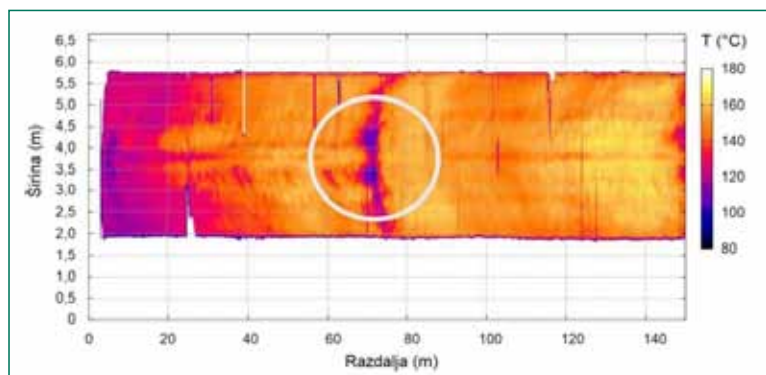
Szigetelt teherautók szigetelt oldalakkal és felül védő ponyvával a piacon kaphatók. Norvégiában és Svédországban szigetelt, gömbölyű aljzatot használnak. Ilyen teherautóra példa a 19. ábrán látható. A skip kerek alja csökkenti az anyagszegregációt, amely aszfalt betöltése közben téglalap alakú kialakítás esetén fordulhat elő. Ebben az esetben a rakodás során nagyobb aszfaltkeverék szemcsék gyűlnek össze a kaszni hosszabb oldala mentén és sarkaiban, ami a burkolat során anyagszegregációval rendelkező területekhez vezethet.



19. ábra: Szigetelt kerek aljú kialakítású teherautó (Asfaltskolan, 2020).



Noha a szigetelt keszonos teherautók segítenek csökkenteni a szállítás közbeni hővesztést, nem akadályozzák a hőmérséklet-szegregációt. A felszínen az aszfaltkeverék még olyan mértékben hűl, hogy a burkolat és a teherautó cseréje során elkülönített területek fordulhatnak elő. Ilyen területre mutat példát a 20. ábra. A szakirodalom áttekintése nem tárt fel olyan tanulmányokat, amelyek a kihagyás elszigetelésének a hőmérsékleti szegregációra gyakorolt hatását vizsgálnák a szokásos kihagyáshoz képest, ami továbbra is nyitott kérdés a kutatás számára.



20. ábra: Elkülönülő területképződés a teherautók cseréjénél egy szigetelt pótkocsival (Olsson, 2018: 13. o.).

**6.2. Teherautók Push-Off (kinyomó) technológiával**

Az egyik olyan intézkedés, amely csökkentheti a hőmérséklet-szegregációt, olyan teherautók használata, amelyek vízszintes irányban kitolják az aszfaltkeveréket a 21. ábrán bemutatott push-off technológiával. A felületen lehűlt aszfaltkeverék egyenletesen oszlik el a forró rész többi részével a kirakás közben, így nagyobb mennyiségű hűlt keverék egyben maradását akadályozza meg. Ez nem így van, ha az aszfaltkeveréket billenőkocsikkal rakodják ki.

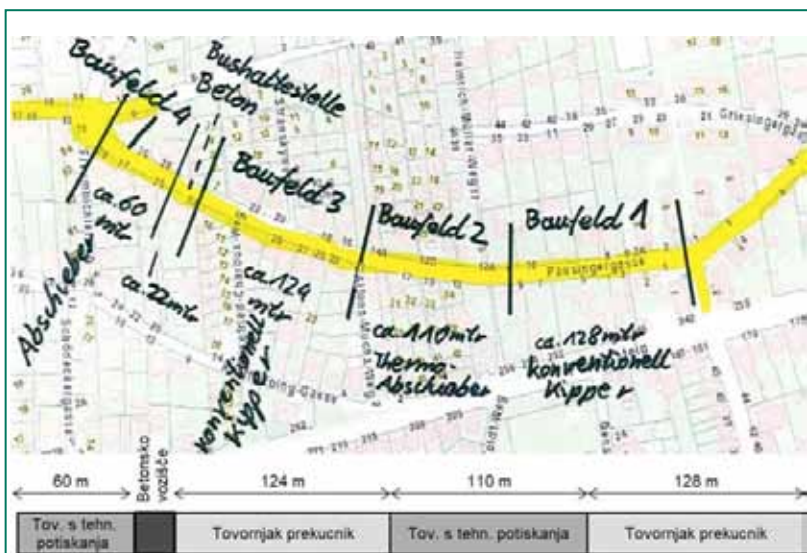


21. ábra: Az aszfaltkeverék kipakolása push-off technológiával (Rošer, 2020)

A Rošer, 2020 című diplomamunkában idézett tanulmány összehasonlítja a hagyományos billenő teherautók és a kinyomható technológiájú teherautók használatának az aszfaltkeverék hőmérséklet-elkülönítésére gyakorolt hatását. A tanulmány a bécsi Pausingergasse úton 2015 márciusában és áprilisában elhelyezett aszfaltkeverékek hőmérsékleti méréseit fedti le. Aszfaltozási hossz 465 m volt, és a következő aszfaltkeverékeket helyezték el:

- 3 cm AC 11 felület, PmB 45 / 80-65, A2, G1,
- 8 cm AC 22 kötőanyag, PmB 25 / 55-65, H1, G4
- 9 cm AC 32 alap, 50/70, T1, G4.

Az aszfaltozáshoz az utat négy szakaszra osztották, amelyeken minden teherautó-típust használtak, amint az a 22. ábrán látható. A hőmérséklet-mérést hőkamerával végezték, és 5 méterenként rögzítették a finisher mögött. Az 1. grafikonon a mindkét típusú teherautó esetében elvégzett mérések hőmérsékleti profilját mutatja, amelyeken a feltüntetett hőmérsékletek mindhárom aszfaltkeverék átlagos hőmérsékleti értékét képviselik.



22. ábra: Billenő tehergépkocsik és tolórendszeres teherautók használata minden burkolati szakaszon (Rošer, 2020).

1. grafikon: Az összes aszfaltkeverék átlagos hőmérséklete, amelyet a billenős teherautók és a push-off technológiával felszerelt teherautók helyeztek el (Rošer, 2020).

Tipper skip      Push-off technology skip

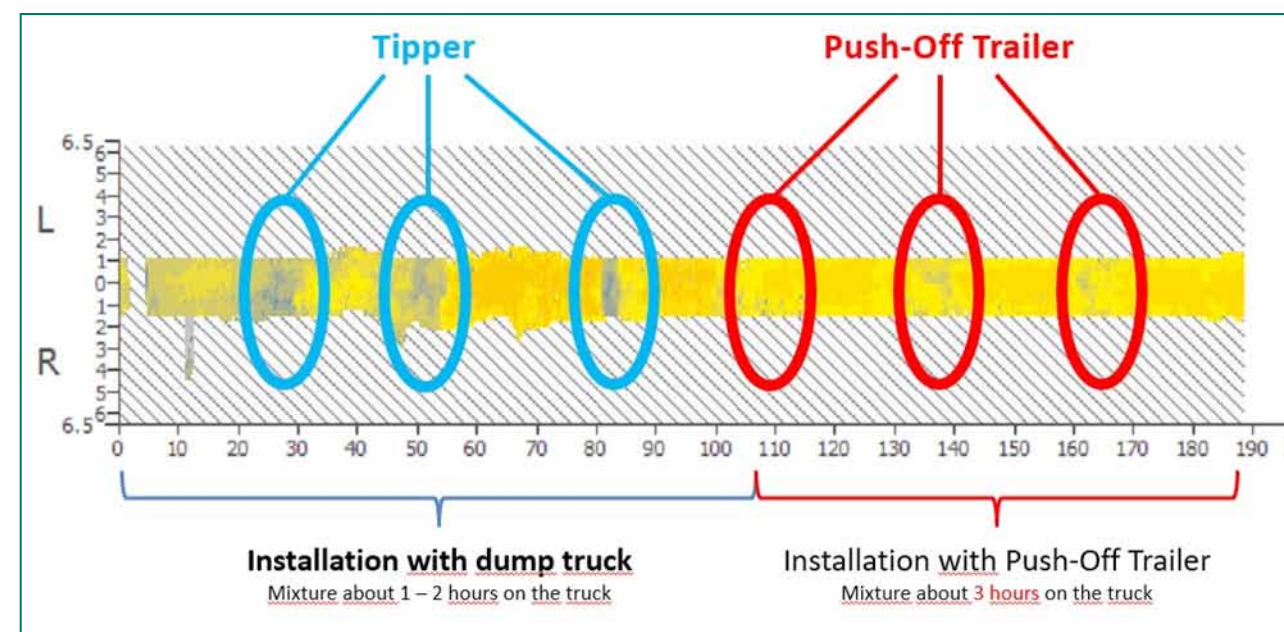
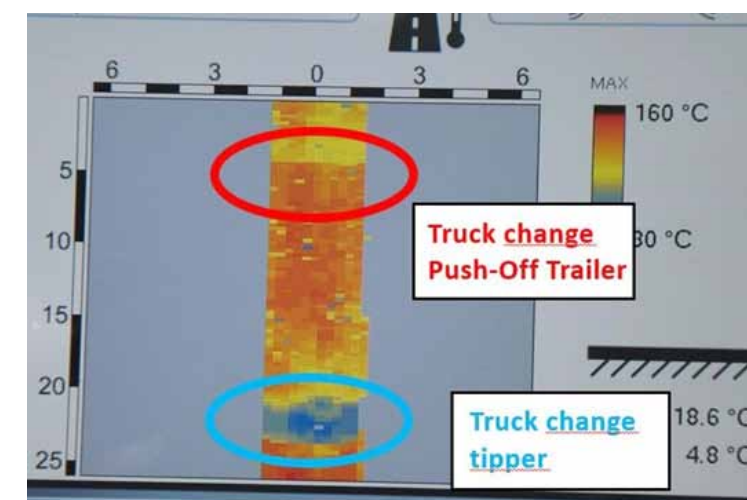
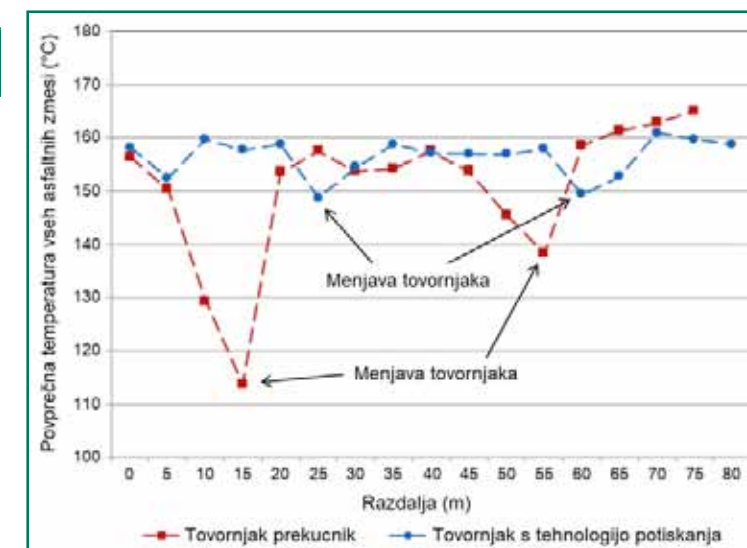
Az eredmények azt mutatták, hogy az aszfaltkeverékek hőmérséklet-csökkenése kisebb volt a push-off technológiával rendelkező teherautók cseréjénél, mint a billenő teherautók cseréjénél. Ily módon a nyomástechnikával rendelkező teherautókról kiderült, hogy segítenek csökkenteni a hőmérséklet-szegregációt.

A push-off technológiával rendelkező teherautók cseréjénél a hatások pontosabb meghatározása érdekében célszerű lenne az aszfaltkeverékek hőmérséklet-mérését hőolvasóval elvégezni.

Ezek egyikét a GGD vállalkozó végezte, nevezetesen egy kísérleti mezőn az úton Bohinjban, Szlovéniában. A kísérleti területen a méréseket Vögele termoszkennerral végeztük, az aszfaltburkolat során. Összehasonlítottuk az aszfaltkeverék hőmérsékleti elkülönítését mind a billenős töltő, mind a push-off technológiás teherautóval.

23. ábra: A hőmérséklet-szegregáció összehasonlítása teherautó-cserénél.

Ezen a kísérleti terepen kiderült, hogy a teherautó cseréjekor a push-off technológiát alkalmazó hőmérséklet-szegregáció lényegesen alacsonyabb, mint a billenő technológiás teherautó használata esetén. Az alábbi ábra a ciklikus hőmérséklet-szegregációt mutatja kamioncserénél, mindkét esetben. A hőmérséklet-szegregáció területei jól láthatók.



24. ábra: A ciklikus hőmérséklet-szegregáció összehasonlítása teherautó-cserénél.



A hőszkennerrel végzett mérések pontosabb mérést tesznek lehetővé, és olyan eljárások alkalmazhatók a hőmérséklet-szegregáció értékelésére, mint a Tex-244-F és az SM specifikációk. A bohinji kísérleti területeken végzett vizsgálat a hőmérséklet-szegregáció értékelésének mindkét módszere alapján értékelhető volt. Ezzel az értékeléssel a kapott eredmények pontosabbak lehetnek, a szegregáció mértékét illetően

A hőmérséklet-szegregáció csökkentése mellett a push-off technológiával rendelkező teherautóknak megvan az az előnyük, hogy minden anyag szállítására használhatók, ami növeli a használhatóságukat, míg az előző pontban leírt, szigetelt keszonos teherautók csak aszfaltkeverékek szállítására szolgálnak. A push-off technológiával rendelkező teherautók alacsony magasságban (alagutak, villanyvezetékek, felüljárók stb.) és magasabb lejtős terepeken is használhatók (Olsson, 2019; Olsson, 2018).

### 6.3. Aszfaltkeverék adagolója

Az adagolót az aszfaltkeverék átrakására használják a teherautó és a terítőgép között, és a 25. ábra mutatja. Elsődlegesen az úttest egyenletességének javítására szolgál, mivel lehetővé teszi az aszfaltkeverék érintés nélküli kirakódását a terítőgép tartályába. Ha aszfaltkeverékeket adagoló nélkül ürítik a finisherbe, akkor a tehergépkocsi és a terítőgép érintkezik egymással, mivel a tehergépkocsinak az aszfaltkeverék kirakódásához a finisherhez kell támaszkodnia. Ez megszakítja a terítőgép mozgását, ami megváltoztathatja az aszfaltburkolat egyenletességét. A közbelső adagoló használata lehetővé teszi a finisher folyamatos működését is megállás nélkül, ami általában kamioncserék során vagy az aszfaltkeverék szállítására várva történik, ami szintén jó hatással van a bedolgozott aszfaltkeverékek egyenletességére és minőségére (TxDOT, 2019; Černigoj, Balkovec, 2018).



26. ábra: A Shuttle Buggy adagoló (ASTEC MOBILE MACHINERY GmbH, 2019).



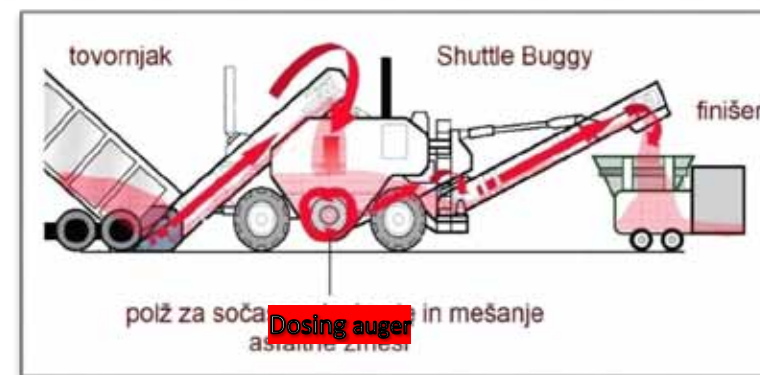
25. ábra: Aszfaltkeverék elhelyezése adagolóval (Joseph Vögele AG, 2007: 5. o.).

Az adagoló használata a hőmérséklet-szegregáció csökkentését is lehetővé teszi, mivel az aszfaltkeverék a többszöri mozgás közben kissé összekeveredik (TxDOT, 2019). Az aszfaltkeverék-adagolónak homogenizálnia kell az aszfaltkeveréket és csökkentenie kell az anyag és a hőmérséklet különbségeket.

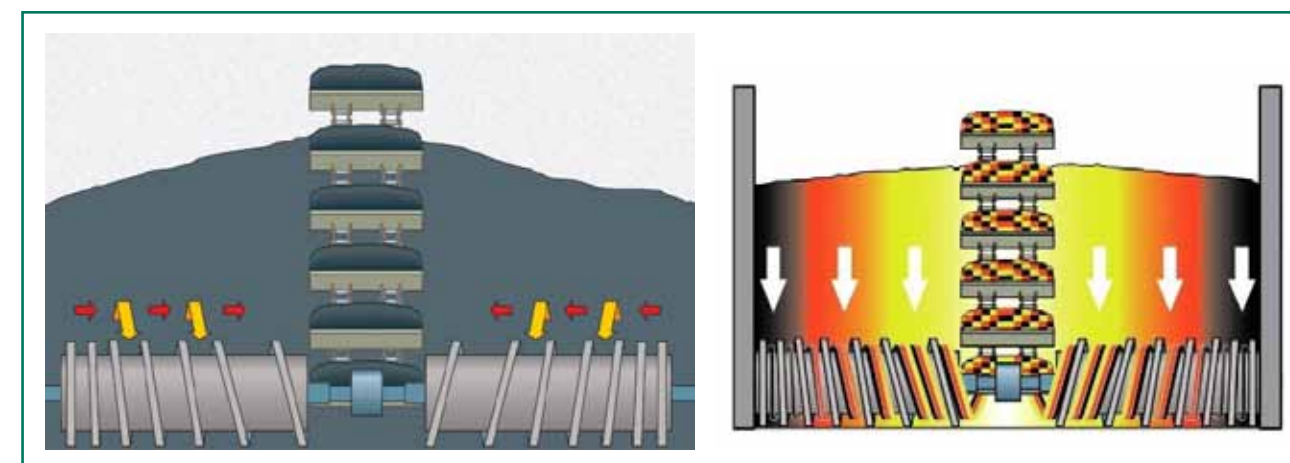
A különböző típusú adagolók elemzése során arra a következtetésre jutottunk, hogy kétféle adagoló különböztethető meg egymástól:

- „amerikai típusú” adagolók és
- „európai típusú” adagolók.

Az amerikai típusú adagolóknak (26. ábra) egy speciálisan kialakított adagolócsiga van a középső részen, amelyet azért fejlesztettek ki és szabadalmaztattak, hogy az aszfaltkeveréket a terítés előtt összekeverjék, csökkentve a hőmérsékleti szegregációt (Roadtec, Inc., 2019).



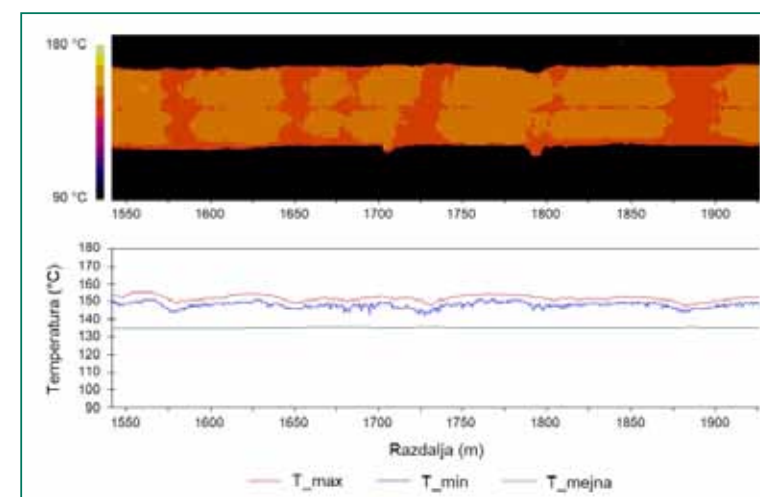
27. ábra: Aszfaltkeverék veadagolása és keverése a Shuttle Buggy adagoló használatával (Phillips, Willoughby, Mahoney, 2003: 8. o.).



28. ábra: Adagolócsiga alakja és a hűlt és forró aszfaltkeverék keverési módszere (Brock, Renegar, 2011: 20. o.; Roadtec WMS, 2006: 5. o.).

Az aszfaltkeverék keverése rendkívül jó eredmények elérését teszi lehetővé, mivel az aszfaltburkolat során a hőmérséklet-különbségek kicsik. Ennek az adagolónak a használatára mutat példát a 29. ábra, amely a Norvégiában beépített aszfaltkeverék hőmérsékleti mezőjét mutatja. A hőmérsékleti mező mellett az ábra a hőmérsékleti profilt mutatja, amely azt mutatja, hogy az aszfaltkeverék nagy homogenitását sikerült elérni, mivel a hőmérséklet-ingadozások kicsik voltak.

A hőmérsékleti mező hossza 383 m volt, a maximális és a minimális hőmérséklet közötti hőmérséklet-különbség a teljes hosszban legfeljebb 10 °C volt. Az amerikai Tex-244-F specifikáció szerint mind a 45 m hosszú alszakasz, ebben az esetben 8 volt, nulla szegregációt ért el. SM szerint a minimális hőmérséklet a teljes hőmérsékletmezőn meghaladta a határhőmérsékletet, ami azt jelenti, hogy a pTO 0% volt (Telle, 2016).



29. ábra: A Shuttle Buggy adagolóval beépített aszfaltkeverék hőprofilja és hőmérsékleti profilja (Telle, 2016: 3. o.).

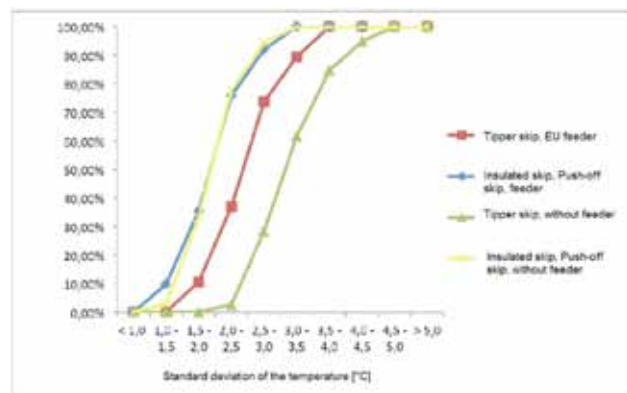
Az aszfaltburkolat amerikai típusú adagolóval nagyon hatékony módszernek bizonyult a hőmérséklet-szegregáció megakadályozásában. Az aszfaltkeverék adagolócsiga segítségével történő keverése jelentősen csökkenti a hőmérséklet-különbségeket, ami nagymértékben javítja az aszfaltkeverékek homogenitását.

Az európai piacon általában csak az európai adagolók vannak jelen. Az európai adagolóban nincs adagolócsiga, ami csak mérsékelten javítja a hőmérsékleti szegregációt. Javasoljuk, hogy az európai gyártók fejlesszék technológiájukat.



#### 6.4. Kombinációk összehasonlítása

Az aszfaltbeépítési folyamat hőmérséklet-változásainak tanulmányozása során (Boehm, 2014) különböző hőmérsékleti veszteségeket hasonlítottak össze különböző technológiák alkalmazásával, amelyek hatással vannak az aszfaltkeverék hőmérsékletére a szállítás és a burkolás során. A tanulmány bemutatja a különböző technológiák kombinációinak hatékony felhasználását.



A hőmérséklet-szegregáció csökkentése érdekében kiemelhetjük a push-off technológiát, az adagolóval és az adagoló nélkül, mint a leghatékonyabb megoldást, amely jelenleg a piacon elérhető.

#### 7. Az aszfaltkeverékek hőmérséklet-csökkentésének fő célstratégiája

Az aszfaltipar az alacsonyabb energiafogyasztás, a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentése és a körforgásos gazdaság megvalósítása miatt a következő időben rövid távon az aszfaltkeverékek gyártási hőmérsékletének jelentős csökkentésére kényszerül.

A cél az aszfaltkeverék gyártási hőmérsékletének 30 °C-os csökkentése a következő három évben, minden évben 10 °C -kal.

Ez a javaslat forradalmi, de rendkívül nagy előnyökkel járhat az aszfaltiparban, amely képes ekkora változásra.



Az aszfalt gyártási hőmérsékletének csökkentése érdekében minimálisra kell csökkenteni a hőmérséklet-szegregációt. Leginkább erre a témára koncentrálnunk.

Az aszfaltkeverék gyártása, szállítás és beépítése során a szállítás és az aszfalt beépítése jelentik a legnagyobb kockázatot a hőmérsékleti szegregáció bekövetkezése szempontjából. Az aszfaltkeverékek szállítás és az aszfaltbeépítő gépbe juttatása során a legnagyobb veszteségek jelentkeznek, amelyek a hőmérsékleti különbségek létrejöttében tükröződnek.

A hőmérséklet-elkülönbségeket többféle módon lehet kezelni:

- Aszfaltkeverék-adagoló és hőszigetelt, íves kialakítású gépkocsik használata

- A push-off és hőszigetelt kialakítású gépkocsik használata
- A push-off és hőszigetelt kialakítású gépkocsik és az aszfaltkeverék-adagoló használata

- A push-off kialakítású nem hőszigetelt gépkocsik és aszfaltkeverék-adagoló használata

Az alábbi táblázat bemutatja az egyes technológiák alkalmazásának az aszfaltkeverékek szétválasztására gyakorolt hatásait. Zöld színnel pozitív hatást, sárgával kissé pozitív hatást, narancssárgával pedig olyan területeket jelöltünk, amelyeket az egyedi technológia nem érint. A további kutatások során részletesebben értékeljük az egyéni hatásokat.

Intézkedések a hőmérséklet-szegregáció megakadályozásában	Alacsonyabb hőmérsékletvesztés szállítás közben	Az aszfaltkeverék összekeverése a szegregáció megakadályozása érdekében	A finisher megállásainak hatásainak csökkentése
Hőszigetelt gépkocsi			
Push-off technológia gk.			
Európai típusú adagoló			
Amerikai típusú adagoló			
Hőszigetelt gk. + EU adagoló			
Hőszigetelt + Push-off technológiás gk.			
Hőszigetelt + Push-off technológiás gk. + EU adagoló			
Push-off technológiás gk. + EU adagoló			

#### 7.1. Aszfaltkeverék-adagoló és hőszigetelt gépkocsi használata

A mester dolgozat (Rošer, 2020) részeként elemzés készült a Vögele adagoló használatának a hőmérséklet-szegregációra gyakorolt hatásáról egy kiválasztott projekten. A mérések azt mutatták, hogy az adagoló használata hatékony módszer a hőmérséklet-szegregáció csökkentésére. A hőmérséklet-szegregáció nulla mértéke érhető el vele, de a kísérleti területen elért eredmények azt mutatták, hogy ez inkább kivétel, mint szabály. A kiválasztott kísérleti mező 4 szakaszából a hőmérséklet-szegregáció nulla mértékét nem sikerült elérni.

Általánosságban a hőszigetelt gépkocsik még nem állnak rendelkezésre építőiparunkban. Ez azt jelenti, hogy meg kell szerezni őket.

A szlovén vállalatoknak még nincsenek aszfaltadagolóik. Az aszfaltadagolókat csak néhány speciális szakaszon használják, ahol pozitív eredményeket értünk el. Ezek az eszközök drágák és energiaigényesek, és csak nagy aszfaltozási munkákhoz használhatók (különösen az autópályák és az állami utak nagyobb munkái, amelyek általában ritkák).

#### 7.2. Szállítóeszköz használata push-off technológiával

A GGD által végzett kísérleti területen 2019-ben a push-off technológia alkalmazását vizsgálták. Az eredmények azt mutatták, hogy a push-off technológia használatával az aszfaltkeverék nulla szegregációja érhető el az aszfaltburkolat felületének jelentős részén.

A push-off technológiával ellátott pótkocsik megvásárlása tűnik az optimális megoldásnak, mivel alkalmazható más építőanyagok közt és nem kötött keverékeihez, és minden típusú ömlesztett szállításhoz felhasználható. A push-off technológiával ellátott szállítóeszköz megvásárlása nem jelent nagy és további pénzügyi

terhet a vállalatok számára, és a munkálatok végső kivitelezésének minőségéhez való hozzájárulásuk miatt optimálisnak bizonyul.

#### 7.3. A push-off technológia, az aszfaltkeverék-adagoló és a hőszigetelt pótkocsi használata

A hőszigetelt pótkocsik segítségével kevesebb az aszfaltkeverék hővesztése a szállítás során. Beleértve a push-off technológiát és az aszfaltkeverék azonnali átvitelét az aszfaltadagolóval a finisherbe, a legjobb eredményeket mutatja a nulla hőmérsékleti szegregáció elérésének óhaja felé.

### 8. Következtetések és kilátások

Az új Európai Bizottság egyik legfontosabb feladata az energiafogyasztás csökkentése, a kibocsátás csökkentése és a körforgásos gazdaság megvalósítása. Ez teszi Európát más kontinensek élvonalaiba.

A fenntarthatóság, a természeti erőforrások és a bolygónk megőrzése iránti elkötelezettség mellett Európának és országainak az üzleti siker biztosításán kell dolgozniuk.

Az aszfaltkeverékek hőmérsékletének csökkentése a következő években döntő fontosságúvá válik az ipar számára. Javaslatunk az aszfalttermelési hőmérséklet 30 °C-os csökkentése a következő 3 évben. Ez a forradalmi változás az európai célok elérésében az élvonalba helyezi az iparágunkat.

A hőmérséklet-szegregáció nulla mértéke lehetővé teszi aszfaltkeverékek előállítását a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten, és az aszfaltipar hozzájárul az Európai Bizottság céljaihoz.

Készítette:  
Nika Matul  
Marjan Marolt  
Slovenko Henigman

### 9. Források

- AASHTO. 2019. SHRP2 Technologies to Enhance Quality Control on Asphalt Pavements. Infrared (IR) Paver Mounted Thermal Profiler: 133 str. <https://www.arasphalt.com/wp-content/uploads/2019/01/Reiter.Page-SHRP2-Workshop.pdf> (Obtained 10. 9. 2020.)
- AASHTO, Federal Aviation Administration, Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association, U.S. Army Corps of Engineers, American Public Works Association, National Association of County Engineers. 2013. Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000. USA, U.S. Army Corps of Engineers: 219 str. [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150\\_5370\\_14b\\_app1\\_part\\_III.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5370_14b_app1_part_III.pdf) (Obtained 9. 9. 2020.)
- Andersson, C. 2019. Information about thermal imaging of asphalt paving. <https://www.adelo.se/experience/> (Obtained 9. 9. 2020.)
- ASTEC MOBILE MACHINERY GmbH. 2019. SB-2500 SHUTTLE BUGGY. <https://www.astec-europa.com/products/material-transfer-vehicles/sb-2500.htm> (Obtained 9. 9. 2020.)
- Bijleveld, F., Miller, S., De Bondt, A., Dorée, A. 2012. Too Hot To Handle, Too Cold To Control - Influence Of Compaction Temperature On The Mechanical Properties Of Asphalt: 11 str. [https://www.researchgate.net/publication/265542520\\_TOO\\_HOT\\_TO\\_HANDLE\\_TOO\\_COLD\\_TO\\_CONTROL\\_-INFLUENCE\\_OF\\_COMPACTON\\_TEMPERATURE\\_ON\\_THE\\_MECHANICAL\\_PROPERTIES\\_OF\\_ASPHALT](https://www.researchgate.net/publication/265542520_TOO_HOT_TO_HANDLE_TOO_COLD_TO_CONTROL_-INFLUENCE_OF_COMPACTON_TEMPERATURE_ON_THE_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_ASPHALT) (Obtained 10. 9. 2020.)
- Bohm, S., Cickovic, M. 2014. Temperaturverlauf im asphalteinbauprozess: 29 str.
- EAPA. 2017. The Ideal Project: 85 str. <https://eapa.org/wp-content/uploads/2018/07/The-Ideal-Project.pdf> (Obtained 2. 9. 2020.)
- EAPA. 2020. Asphalt 4.0 <https://eapa.org/asphalt-40/> (Obtained 2. 9. 2020.)
- Henigman, S., Bašelj, R., Birk, I., Britovšek, Z., Cezar, J., Cotič, Z., Čibej, K., Čotar, M., Donko, D., Fortuna, I., Hribar, D., Ipavec, A., Jamnik, J., Jurgele, M., Kerstein, A., Kokot, D., Kugler, R., Lamut, T., Lavrenčič, A., Ljubič, A., Lukač, B., Markelj, A., Marolt, M., Naglič, O., Natlačen Penko, S., Pavšič, P., Prešeren, M., Prosen, J., Ramšak, M., Ravnikar Turk, M., Šuštar, J., Tatalovič, G., Tušar, M., Willenpart, B., Zupan, J., Žmavc, J. 2016. Asfalt. 3. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije, Uradni list Republike Slovenije: 404 str.
- Henigman, S., Bašelj, R., Bradeško, S., Britovšek, Z., Cezar, J., Cotič, Z., Čotar, M., Donko, D., Kerstein, A., Lamut, T., Ljubič, A., Lukač, B., Marolt, M., Naglič, O., Planinc, J., Podgoršek, F., Prešeren, M., Prosen, J., Šuštar, J., Tušar, M., Willenpart, B., Zupan, J., Žmavc, J. 2006. Asfalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 285 str.



- Hribar, D. 2008. Odkrivanje temperaturnih razlik pri vgrajevanju asfaltnih zmesi: 3 str.  
[http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/67-ceste\\_2008\\_zrmk\\_sl.PDF](http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/67-ceste_2008_zrmk_sl.PDF) (Obtained 11. 9. 2020.)
- Joseph Vögele AG. 2019a. Applications Technology: Vögele RoadScan. Temperature Measurement System: 12 str. 31  
[https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o16082v89\\_RoadScan\\_EN\\_2521018\\_oPW\\_0318.pdf](https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o16082v89_RoadScan_EN_2521018_oPW_0318.pdf) (Obtained 9. 9. 2020.)
- Joseph Vögele AG. 2019b. Special Class: MT 3000-2 Offset. Powerfeeder: 36 str.  
[https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o5374v89\\_MT3000iOffset\\_EN\\_2636791\\_mPW\\_0218.pdf](https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o5374v89_MT3000iOffset_EN_2636791_mPW_0218.pdf) (Obtained 9. 9. 2020.)
- Joseph Vögele AG. 2010. RoadNews for new roads. High-performance feeder empties mix lorry in 60 seconds: 14 str.  
[http://www.roadnews.info/en/rn19\\_article03.aspx](http://www.roadnews.info/en/rn19_article03.aspx) (Obtained 9. 9. 2020.)
- Jöseph Vögele AG. 2007. RoadNews for new roads. Vögele develop new machine technology for "hot on hot" paving: 16 str.  
[http://www.roadnews.info/en/EN\\_rn09\\_article01.pdf](http://www.roadnews.info/en/EN_rn09_article01.pdf) (Obtained 9. 9. 2020.)
- LECTURA Press. 2017. City of Heidelberg relies on thermo-insulated push-off trailer in road construction.  
<https://lectura.press/en/article/city-of-heidelberg-relies-on-thermo-insulated-push-off-trailer-in-road-construction/40393> (Obtained 10. 9. 2020.)
- Milanović, B., Domitrović, J., Rukavina, T. 2012. Application of Infrared Camera for Quality Control during Paving: 8 str.  
[https://www.researchgate.net/publication/266000585\\_Application\\_of\\_Infrared\\_Camera\\_for\\_Quality\\_Control\\_during\\_Paving](https://www.researchgate.net/publication/266000585_Application_of_Infrared_Camera_for_Quality_Control_during_Paving) (Obtained 14. 5. 2019.)
- MzP, DRSC. 2009. TSC 06.300 / 06.410: 2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Ljubljana, DRSC: 56 str.  
[https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/DRSI/Dokumenti-DRSI/Tehnicne-specifikacije/TSC\\_06\\_300\\_410\\_2009\\_Smernice\\_in\\_tehnicni\\_pogoji\\_za\\_graditev\\_asfaltnih\\_plasti.pdf](https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/DRSI/Dokumenti-DRSI/Tehnicne-specifikacije/TSC_06_300_410_2009_Smernice_in_tehnicni_pogoji_za_graditev_asfaltnih_plasti.pdf) (Obtained 24. 2. 2020.)
- MzP, DRSC. 2001. TSC 06.711:2001. Meritev gostote in vlage. Postopek z izotopskim merilnikom. Ljubljana, DRSC: 11 str.  
[https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/DRSI/Dokumenti-DRSI/Tehnicne-specifikacije/TSC\\_06\\_711\\_2001\\_Meritev\\_gostote\\_in\\_vlage\\_Postopek\\_z\\_izotopskim\\_merilnikom.pdf](https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/DRSI/Dokumenti-DRSI/Tehnicne-specifikacije/TSC_06_711_2001_Meritev_gostote_in_vlage_Postopek_z_izotopskim_merilnikom.pdf) (Obtained 24. 2. 2020.)
- Rošer, R. 2020. Temperaturna segregacija pri vgradnji asfaltnih zmesi. UL FGG: 116 str.
- Telle, R. 2016. BÄTTRANSPORT AV ASFALT 2016. Rapport fra varmfotografering for Statens vegvesen: 25 str.  
[https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/nytteverdi/attachment/1692423?ts=159b69a4a50&fast\\_title=Bättransport+av+asfalt+2016+%28Veiteknisk+Institut+2016%29](https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/Avsluttede+FoU-program/Varige+veger/nytteverdi/attachment/1692423?ts=159b69a4a50&fast_title=Bättransport+av+asfalt+2016+%28Veiteknisk+Institut+2016%29) (Obtained 02. 9. 2020.)
- Telle, R. 2015. Riktig utførelse av asfaltdekker. Varige vegger 2011 – 2014: 60 str.  
[https://www.vegvesen.no/attachment/775964/binary/1012133?fast\\_title=SVV+rapport+352+Riktig+utførelse+av+asfaltdekker.pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/775964/binary/1012133?fast_title=SVV+rapport+352+Riktig+utførelse+av+asfaltdekker.pdf) (Obtained 5. 9. 2020.)
- TXAPA. 2019. Battling Segregation Using Pave IR System: 27 str.  
[https://www.virginiadot.org/VDOT/Business/asset\\_upload\\_file906\\_3638.pdf](https://www.virginiadot.org/VDOT/Business/asset_upload_file906_3638.pdf) (Obtained 12. 9. 2020.)
- TxDOT. 2019. Pavement Manual: 468 str.  
<http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/index.htm> (Obtained 7. 9. 2020.) 32
- TxDOT. 2015. Test Procedure for THERMAL PROFILE OF HOT MIX ASPHALT. TxDOT Designation: Tex-244-F: 6 str.  
[https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/TMS/200-F\\_series/pdfs/bit244.pdf](https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/TMS/200-F_series/pdfs/bit244.pdf) (Obtained 11. 9. 2020.)
- Von Quintus, H. L., Reiter, J. 2018. SHRP2 Case Study: Infrared Thermal Profiler Use for Improving Mat Uniformity and Long-Term Performance. Champaign, Illinois, Applied Research Associates, Inc.: 31 str.  
[http://shrp2.transportation.org/Documents/Case\\_Study\\_Long\\_Term\\_Performance\\_Version1\\_20March2018\\_V4.pdf](http://shrp2.transportation.org/Documents/Case_Study_Long_Term_Performance_Version1_20March2018_V4.pdf) (Obtained 24. 8. 2020.)
- Von Quintus, H. L., Reiter, J. 2017. Case Study on Infrared Deployment. Champaign, Illinois, Applied Research Associates, Inc.: 56 str.  
[http://shrp2.transportation.org/Documents/Case\\_Study\\_IR\\_Deployment\\_Version1\\_July2017\\_compressed7\\_8\\_19.pdf](http://shrp2.transportation.org/Documents/Case_Study_IR_Deployment_Version1_July2017_compressed7_8_19.pdf) (Obtained 24. 8. 2020.)



Tisztelettel köszönjük a Vasi Aszfalt-Gép Kft. megbízását, és kívánunk további sok sikert a BENNINGHOVEN ECO 1250 típusú aszfaltkeverőjünkkel, illetve a WIRTGEN CSOPORT termékeivel is.



# Világjáró Zalában

## BENNINGHOVEN ECO ASZFALTKEVERŐ

Közel egy éve keveri az aszfaltot Zalában a Vasi Aszfalt-Gép Kft. BENNINGHOVEN ECO 1250 típusú aszfaltkeverője. Az aszfaltkeverő főbb jellemzői: 100-140 t/h keverési teljesítmény, 5 előadagoló, PB-gáz égő, 17 t melegbunker, 2 tonnás keverő, 50 t aszfalttározó, 60 m<sup>3</sup>-es bitumentartály, 1-1 porsiló, számítógépes vezérlés távkapcsolattal

### A BENNINGHOVEN ECO széria előnyei:

- > Főegységek szállításra optimalizált konténerméretben, akár gyorscsatlakozós kábelezéssel
- > Gyors szerelés (felépítés és elbontás), hatékony konfiguráció, későbbi bővíthetőséggel
- > Széles teljesítmény-választék: 100 - 320 t/h, piacvezető égő akár 4 féle tüzelőanyaggal
- > Különböző aszfalttározók és perifériák, valamint hideg martaszfalt-adagolás max. 25%-ig



# Az aszfalt pályaszerkezetben keletkező feszültségek számítása véges számú koncentrált erők felvételével

Zsichla László



ügyvezető igazgató  
Rodcont Kft

## 1. Bevezetés

A tanulmányban bemutatom a véges számú koncentrált erő modell segítségével a pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusainak változásának hatását az útpályaszerkezetben keletkező alakváltozásokra és feszültségekre. Kitérek a módszer pontosságának és megbízhatóságának ellenőrzési módszerére, valamint elemzem a jelenlegi méretezési módszert. Bemutatom a burkolat hőmérsékletének hatását a kialakuló törő feszültségekre és a fáradási élettartamra vonatkozóan a tényleges, valóságos ikerabroncs, mint terhelő felület figyelembe vételével, amely jelentősen rugalmas körtárcsa terhelési modelltől, de rámutatok az egyezésekre is. Végezetül a Rodcont modell segítségével az aszfaltkeverékek fáradási élettartamát elemzem, különös tekintettel a négy pontos hajlító vizsgálatra.

## 2. Modellek

Az alkalmazott véges számú koncentrált erők figyelembe vételén alapul. Az erők összege egyenlő a terhelő erővel. A koncentrált erők nagysága követi a feltételezett feszültség eloszlását.

A terhelő felület megegyezik az útpályaszerkezetet terhelő gumiabroncs által okozott terhelő felülettel.

A véges számú koncentrált erő modell alapja, hogy a koncentrált erő által keletkezett feszültség komponensek a végtelen féltér bármely pontjában, valamint a féltéren tetszőlegesen felvett, terhelő irányú a felületre merőleges tengelyben a tengelyirányú összenyomódások egzaktnak számíthatók.

A módszer Boussinesqu<sup>[1]</sup> által megadott feszültségkomponenseket, és Odemark-Ivanov<sup>[2]</sup> által ajánlott, de a pályaszerkezetben keletkező hajlító nyomatókkal pontosított helyettesítő rétegvastagsággal számol, amely igen jó közelítés a tényleges behajlási teknő modellezéséhez.

A megadott<sup>[3,4]</sup> megfelelő integrálás elvégzése miatt már

nem szükséges a differenciálegyenletet numerikus vagy közelítő módszerrel megoldani<sup>[5]</sup>.

Az alternatív módszer a VEM végeses elemes eljárás, a numerikus szempontból lineáris algebrai egyenletrendszer megoldására vezet vissza az eredeti parciális differenciálegyenlet-rendszereket is tartalmazó peremérték feladatot<sup>[6]</sup>.

A VEM módszerek is közelítést tartalmaznak<sup>[5]</sup>, de nagyon pontosnak tekinthetők. A pontosságot vizsgálták<sup>[7]</sup>, a statikus lehajlásból a szélső szálban ébredő feszültségek és fajlagos nyúlás, valamint lehajlás alapján. A VEM-el számított értéket analitikus „pontos” módszerrel hasonlították össze. A fajlagos megnyúlás VEM-el számított értéke az analitikus módszerrel számítottéhoz képest kis lehajlások esetén 10 % körüli, nagyobb lehajlásoknál 10% feletti volt. Dinamikai számításoknál az eredmények sokkal jobbak lettek.

A VEM alkalmazása már most is elterjedt, de a jövőben még inkább terjedni fog, hiszen néhány speciális esettől eltekintve a differenciálegyenletek explicit képlettel való megoldása nem lehetséges, ezért közelítő, vagyis numerikus módszert kell alkalmaznunk.

A véges számú koncentrált erő modell előnye a VEM-el szemben, hogy analitikus számítást igényel, ezért a szükséges számítások akár egy excel táblázat segítségével is elvégezhetők.

## 3. Pontosság és alkalmazhatóság

A pályaszerkezetben keletkező feszültségek és alakváltozások számításának megbízhatóságának vizsgálatához egy független eljárást kell találni.

Az egyik lehetséges módszer, hogy szenzorokat építünk be a pályaszerkezetbe, amit később terhelésnek vetünk alá, így a mért és a számított eredményeket lehet összevetni. Ennek a módszernek a legnagyobb problémája a szenzorok tényleges mérési pontosságának meghatározása és a módszer költségessége.

A másik lehetőség, hogy a pályaszerkezetet „hagyományos”, jól ismert terhelésnek vetjük alá, KUAB, FDW, Lacroix, Curviometer stb. és a mért behajlási teknőt, mint mérési eredményt vetjük össze a számított behajlási teknővel. A módszer előnye, hogy a mérés típusától függően ismertek a mérési pontosságok és a mérés ismételtetésére vonatkozó információk.

Különböző számítógépes programok ismertek, amelyek segítségével a behajlási teknőből a pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusa vissza számítható.

A számítás eredményét, akkor tekintik elfogadhatónak, jónak, ha a mért és a számított RMSE% 4% alatti, de törek-szenek az 1-3% határértéken belül maradni<sup>[8]</sup>.

Ez a hibahatár gyakorlatilag azt jelenti, hogy a mért és a számított behajlás 0,1mm belüli, néhány század milliméter.

## 4. Pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusának hatása a behajlási teknőre

A Rodcont-modell segítségével, bármilyen alakú terhelő felületen, bármilyen feszültség eloszlás feltételezése mellett és akárhány terhelő kerék, iker, szőlő, egy tengely, vagy több tengely számítható, ill. azt is figyelembe tudjuk venni, hogy a nem mért oldalon is vannak terhelő abroncsok.

A továbbiakban a 10 tonna tengelyterhelésű, egy ikerabroncsra jutó 50kN ikerabroncs terhelésének hatását mutatom be.

A kontakt nyomást az ajánlott  $q = 0,454p + 197,87$  számítottam, ahol a  $p$  abroncs nyomása 0,6 MPa.

Az általában használt egyenes feszültségeloszlás mellett Király Tamás és Primusz Péter által<sup>[9]</sup>

VEM modell alapján számított, ikerabroncs kontakt szimuláció eredményéhez, feszültségi alakhoz közelítő feszültségeloszlást is figyelembe tudtam venni.

Ez a terhelési mód azért kiemelkedően fontos, mivel a jelenlegi pályaszerkezet méretezési módszer ezen alapul, ezt nevezzük egység tengely terhelésnek, erre vezetünk vissza minden egyéb terhelési módot.

A Rodcont-modellrel számítottam a behajlási teknőket az út ill. a terhelő gépkocsi tengelyére merőleges kereszt irányban különböző 20-60 MPa altalajokon (1. ábra). Az abroncs alatti behajlás a tengelytől mért  $\pm 65, \pm 165, \pm 265$  mm távolságokon. A görbületi sugarak az altalaj teherbírásának növekedésével arányosan csökkennek.

A földmű építésekor hasonló „keréknyomot” tapasztalunk.

A valóságban a görbület valamivel kisebb lesz ilyen nagy behajlások esetén, mivel az ikerabroncs ezt a keresztirányú behajlást csak akkor tudná felvenni, ha a két abroncs tengelye körül az elfordulás lehetséges volna.

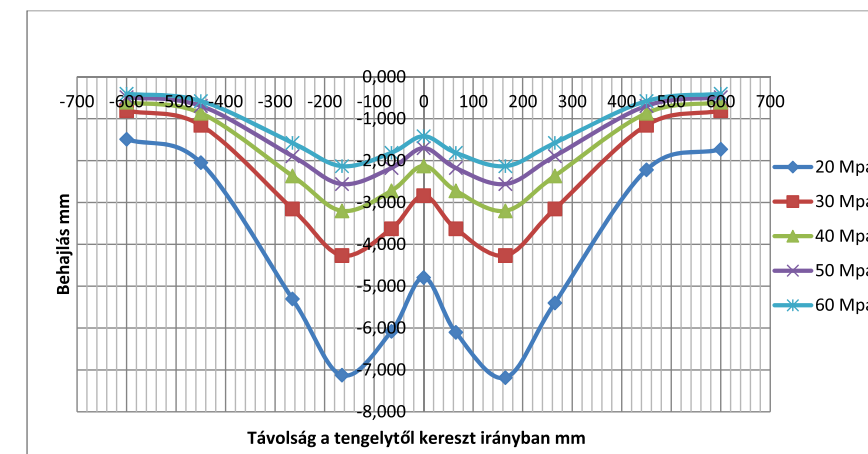
A felfüggesztés azonban merev, ezért az abroncs és a talaj közötti feszültségeloszlás módosul, a tengelyhez közelebb nagyobb lesz a nyomás, míg a széleken csökkeni fog.

Ez az egyenlenség mindig megmarad, de a pályaszerkezet teherbírásának növekedésével minimálissá válik, amit már az abroncs vesz fel, az abroncsban keletkező feszültségek eloszlása változik, de ennek már elhanyagolható a hatása a pályaszerkezetre.

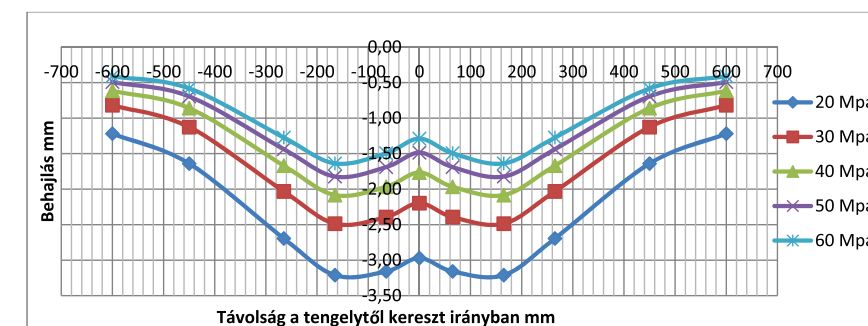
Megvizsgáltuk, hogy mi történik, ha a különböző teherbírású altalajra egységesen 20 cm vastag mechanikai stabilizációt teszünk, ami a 70-es években és az előtt az út alapja volt, és erre került itatott vagy kevert aszfaltmakadám (2. ábra).

A véges számú koncentrált erő modellel továbbiakban Rodcont-modellrel mért és számított eltérés RMSE% 0,2% alatti, igen gyakran 0,1% alatti, míg az abszolút eltérés több ponton a 0,002mm-t se éri el, vagyis a mérő készülék mérési hibahatárán belüli, a legnagyobb eltérés is 0,01mm alatti.

A Rodcont-modellrel is a rétegenkénti alakváltozási modulusok csak több lépésben határozhatók meg fokozatos közelítéssel, amíg egy elfogadott, vagy minimum szinthez tartozó RMSE% értéket el nem érünk. Tapasztalatunk szerint bármilyen teherbírás mérési módszer szerint előállított behajlási teknőből a pályaszerkezeti rétegek típusának és vastagságának tekintetében a modell jól használható a mérés kori pályaszerkezeti rétegek alakváltozási modulusának meghatározására. Azt azonban tudni kell, hogy jelenleg nincs olyan mérő készülék, amellyel előállított behajlási teknő alapján a meglévő aszfalt pályaszerkezeti rétegen belüli rétegek pl. JU, KAB, EHA, vagy SMA a feltárt rétegvastagsága szerinti alakváltozási modulusok elfogadható pontossággal visszszámíthatók lennének. Az aszfaltreteget vastagságtól függően legfeljebb még egy további rétegre lehet bontani. A felbontást nem a számítási modellek, hanem a mért behajlási teknő alakjának pontossága határozza meg.



1. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék alatti, kereszt irányú behajások különböző teherbírású talajokon



2. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék alatti, kereszt irányú behajások 20 cm mechanikai stabilizáción és különböző teherbírású talajokon



Látható, hogy a legnagyobb behajlások jelentősen csökkentek, a görbületi sugarak növekedtek, sőt a görbületi sugarak aránya is csökkent.

A 20 cm mechanikai stabilizációra helyeztünk még 15 cm 2500 MPa alakváltozási modulusú aszfaltréteget, ami egy ~20 °C-os aszfaltkeveréknek felel meg pl. Benkelman-os teherbírásmérés esetén, lassú terhelési sebesség mellett (3. ábra).

Az ábrából úgy tűnik, mintha az altalaj teherbírásának változása párhuzamosan tolná el a behajlási teknőt, mintha a görbületi sugarak nem is változnának. Vizsgáljuk meg, mi történik a hosszirányú, „hagyományos” behajlási teknővel (4. ábra).

A hosszirányból is látszik, hogy a 0-450 mm-ig a behajlási teknő sugara alig változik, az altalaj teherbírása a 450 mm-nél távolabbi teknő pontok behajlási sugarára hat.

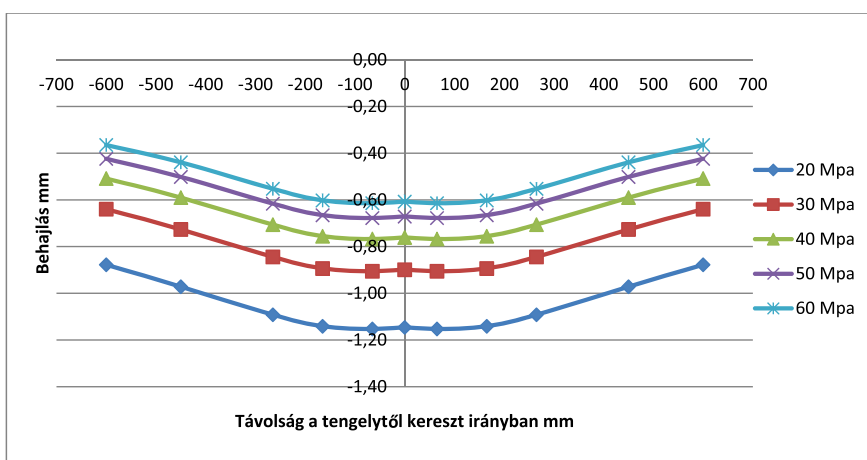
A 0-450 mm pontok közötti behajlási sugarat ill. annak változását döntően nem az altalaj teherbírásának változása, hanem a felső pályaszerkezeti réteg, esetünkben a 15 cm vastag aszfaltréteg alakváltozási modulusának változása határozza meg (5. ábra). Nagyon fontos az aszfalt-pályaszerkezet alatti mechanikai stabilizáció alakváltozási modulusának nagysága is, de ezzel jelen cikkben nem foglalkozunk.

Az aszfaltréteg alakváltozási modulusának változását okozhatja a fázisradás, de okozhatja a burkolat belső hőmérsékletének változása is.

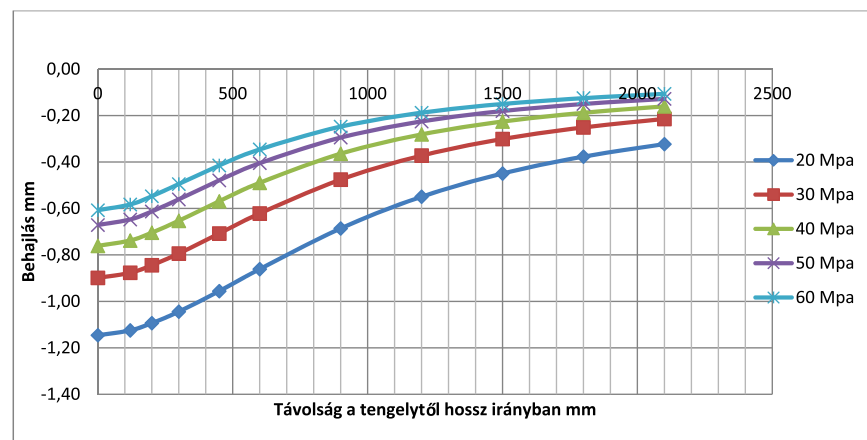
Esetünkben az 1000 MPa megfelelhet egy 30-35 °C-os aszfaltknak, míg a 4000 MPa egy -5 - 0 °C-os aszfaltkeveréknek lassú 1 mm/perc terhelési sebesség mellett.

Ha a megadott alakváltozási modulusokhoz hőmérsékletet rendelünk, vagyis azt feltételezzük, hogy az alakváltozási modulus csak és kizárólag a hőmérséklet miatt változott meg pl. új építés esetén, akkor a legnagyobb behajlás értékének a hazai szabványban megadott  $1,3 \cdot 0,015 \cdot T$  értékű korrekciója esetünkben is jó eredményre vezetne.

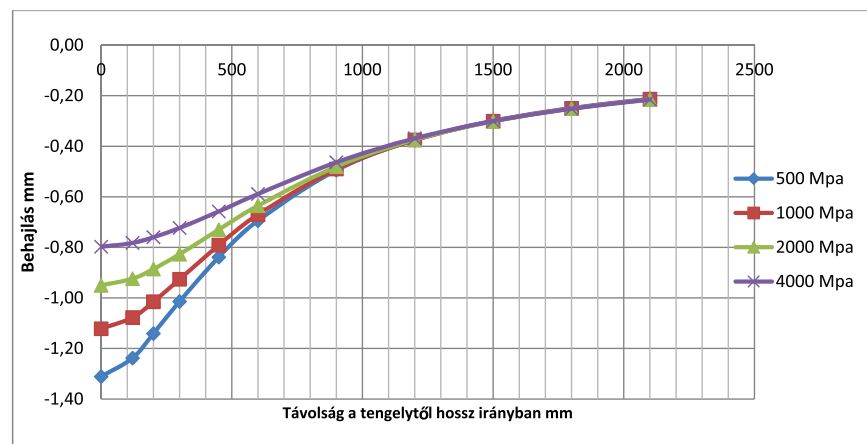
Vékonyabb aszfaltréteg esetén pl. 80mm, a hazai szabvány már nem ajánlja, nem teszi lehetővé a hő-



3. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék alatti, kereszt irányú behajások 20 cm mechanikai stabilizáción + 15 cm 2500 MPa modulusú aszfaltrétegen különböző teherbírású talajokon



4. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék közötti, hossz irányú behajások 20 cm mechanikai stabilizáción + 15 cm 2500 MPa modulusú aszfaltrétegen különböző teherbírású talajokon



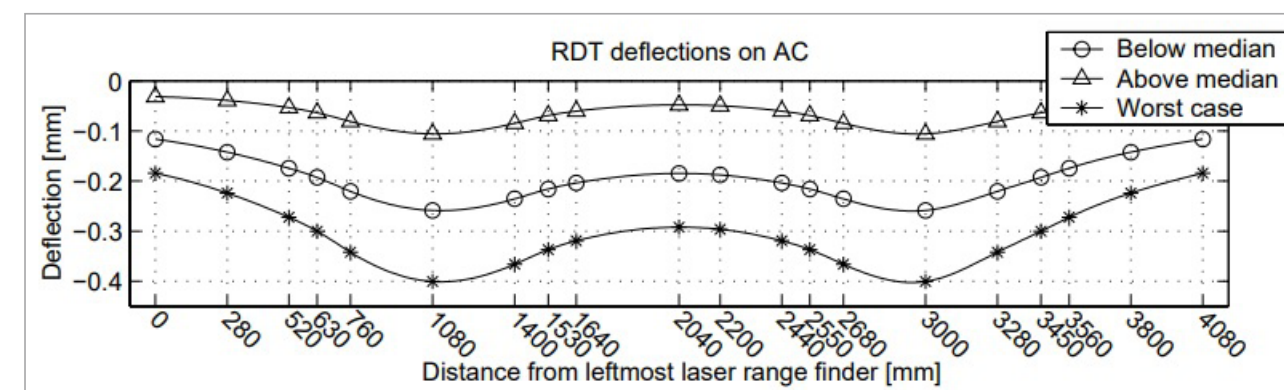
5. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék közötti, hossz irányú behajások 20 cm mechanikai stabilizáción + 15 cm 2500 MPa modulusú aszfaltrétegen, 30MPa teherbírású talajon

mérsékleti korrekciót, pedig ekkor is jelentős a burkolat hőmérsékletének hatása a legnagyobb behajlásra. A 80mm vastagságú aszfaltréteg esetén a legnagyobb behajlást 1,36 értékkel kellene korrigálni, vastag aszfaltrétegnél, pl. 240mm a helyes szorzó 1,78.

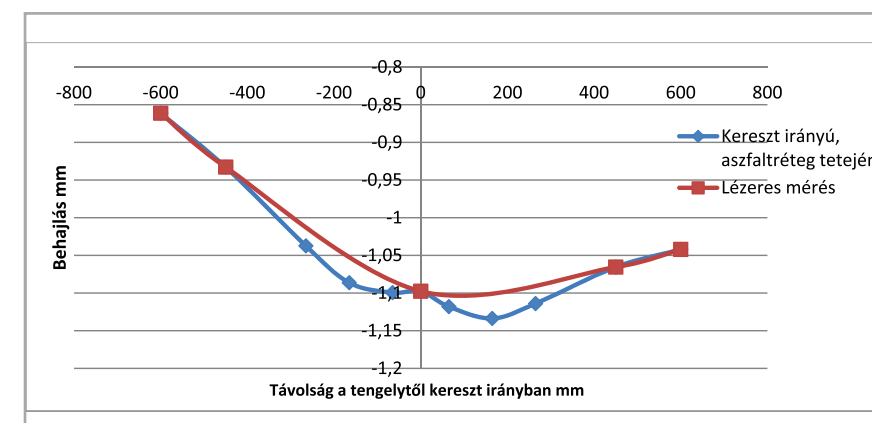
A mérés kori alakváltozási modulus a behajlási teknőből a bemutatott modell segítségével pontosan számítható, de a kapott eredmény értékelése attól függ, hogy mi volt a pályaszerkezet, ill. az értékelt pályaszerkezeti réteg mérés kori pillanatnyi hőmérséklete.

Nagy a különbség a között, hogy a behajlási teknőből kiszámított pl. 1000 MPa aszfalt alakváltozási modulus viszonylag „statikus” terhelés pl. gördülőkeres mérés mellett az aszfaltréteg hőmérséklete 30 °C-os volt, vagy pl. 15 °C-os volt. Első esetben 30 °C-on értékelve a pályaszerkezeti réteg megfelelő, 15 °C esetén az aszfaltréteg már kezd kifáradni és tele van nem látható mikro repedésekkel.

Nagy jelentősége van a mérés kori aszfalthőmérséklet jelenleginél sokkal pontosabb és megbízhatóbb meghatározására<sup>107</sup>, mivel hiába számolunk pontosan, ha a mérési hőmérsékletben nagyot tévedünk.



6. ábra: Lézeres felmérés keresztirányú behajlási eredményei



7. ábra: Kereszt irányú behajások 10 t tengelyterhelésű ikerkerék terhelési felület esetén, ahol a másik oldali kerék is terhel

A behajlási teknő értékelésekor fontos, hogy a teknő mely szakaszait elemezzük. A Rodcont-modell alkalmazásával is arra az eredményre jutottam, hogy az elfogadott SCI index mérési pontok között a pályaszerkezet felső rétegét jellemzi, a BDI az út alapját, míg a BCI az altalajra jellemzők, de nem függetlenek egymástól, csak a vizsgált rétegre vonatkozóan nagyobb, jelentősebb a súlyuk.

Az altalaj teherbírásnak 15-17 cm aszfaltvastagság felett és megfelelő útalap pl. 20 cm mechanikai stabilizáció mellett kicsi a hatása a kritikus behajlási sugar mértékére. Az altalaj teherbírása döntően az út alapjára gyakorol hatást, annak élettartamát befolyásolja.

A pályaszerkezet méretezésekor és a teherbírás mérésekor se szokták figyelembe venni a másik, „túlsó oldali” kerék terheléséből származó behajlásokat. Lézeres mérésen alapuló keresztirányú behajlás méréssel igazolták<sup>111</sup>, hogy a kétoldali abroncsok között, a terhelő gépkocsi alatt, a behajlások lényegesen nagyobbak, mint a tehergépkocsin kívül (6. ábra).

A túloldali kerékterhelés hatása a 0. pont és a 2040 mm mérőpontok behajlásának különbségéből egyértelműen látszik. Az ikerabroncsok közötti mérőfej a 1080mm és a 3000 mm-nél van. Hasonló, ill. azonos pályaszerkezet esetén azonos behajlásokat kaptam a Rodcont-modell segítségével (7. ábra). Az eltérés, hogy a lézerrel se lehet az abroncsok alatt mérni, csak az abroncsok mellett, és az ikerabroncs között. Közvetlenül a mérésből a mértékadó keresztirányú görbület nem határozható meg.

A hosszirányú görbület viszonylag pontosan mérhető a gördülőkeres mérési mód segítségével, ha a hosszirányú görbületet az ikerkerék között vesszük fel, de mint később látni fogjuk a mértékadó görbület nem az ikerkerék között, hanem az egyik abroncs közepén alakul ki.



## 5. Feszültségek számítása

A kerékterhelésből származó feszültség komponensek egyeztetésére számíthatók<sup>[3/4]</sup>. A behajlási teknő számításakor figyelembe vesszük, hogy a kötőanyaggal rendelkező pályaszerkezeti rétegek meghajlanak, ami a görbületől függő mértékben hosszirányú „Y”, és keresztirányú „X” feszültséget, ill. fajlagos megnyúlást, vagy összenyomódást okoz.

A pályaszerkezeti rétegek vastagságának és a rétegek alakváltozási modulusának ismeretében, amit vagy felvesszünk valamilyen vizsgálat alapján, vagy a tényleges behajlásmérés alapján számítunk.

A pályaszerkezeti rétegek vastagságát, fűrésszel ill. az OKA adatbázisból határozzuk meg, vagy georadaros felmérés segítségével.

A számítások pontosságát döntően befolyásolja a bemenő adatok megbízhatósága. Jelen cikk kereteit meghaladja az adatok megbízhatóságának és az azt befolyásoló tényezők elemzése, de nem megkerülhető téma.

A behajlási teknő nemcsak a pályaszerkezet felszínén, hanem bármely réteghatáron számítható a Rodcont-modell segítségével. A behajlások alapján három számított pont segítségével egyszerű geometriából számítható a görbületi sugár, valamint az elemi mechanika alapján, szintén geometriai megfontolások alapján az „X” ill. „Y” irányú megnyúlások.

A mértékadó görbületek és az ebből származó  $\varepsilon_x$ ;  $\varepsilon_y$  fajlagos megnyúlásokat négy helyen vizsgáljuk hossz és kereszt irányban (8., 9. ábrák).

-Az abroncsok között a vizsgált lemez felszínén

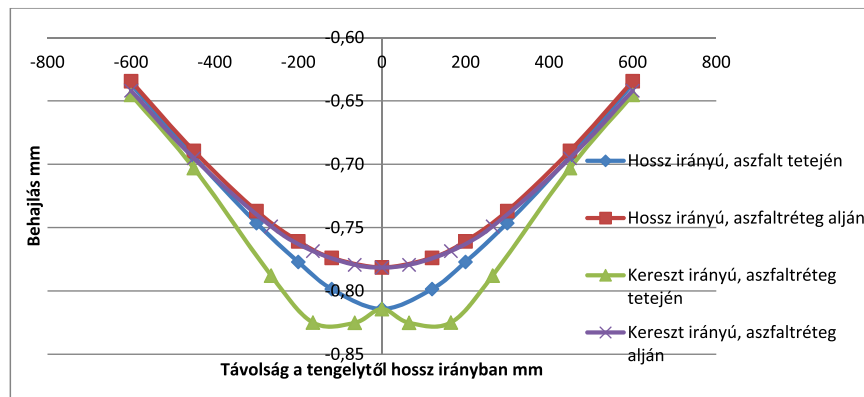
-Az abroncsok között a vizsgált lemez alján

-Az egyik abroncs közepén a vizsgált lemez felszínén

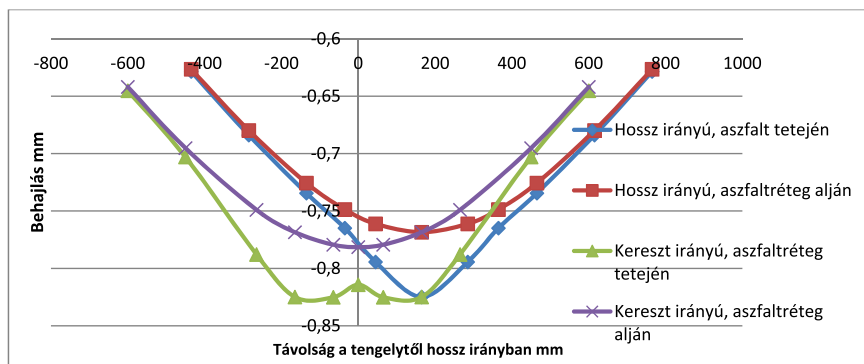
-Az egyik abroncs közepén a vizsgált lemez alján.

Az  $\varepsilon_x$ ;  $\varepsilon_y$  fajlagos megnyúlásokat mindig a vizsgált lemez alján számítjuk, mivel az abroncsok nyomásából származó erők jelentős nyírásból származó deformációt okoznak, amit már számításba vettünk, ezért már „csak” a hajlításból eredő megnyúlásokra van szükségünk.

Látható, hogy az ikerabroncsok között felvett hosszirányú alakváltozás a lemez alján szinte azonos a keresztirányúval. E miatt szokták, mert se mérni - se számolni a VEM kivételével nem lehetett - körtárcsával helyettesíteni az ikerkerékek terhelését. Látható azonban, hogy ekkor az abroncs alatt kialakuló jelentős nyomás és annak hatása — főleg a deformációra, nyomvályú kialakulására figyelmen kívül van hagyva. A legnagyobb hossz irányú megnyúlások se itt, hanem az egyik abroncs alatt alakul ki (9. ábra), de ezen a helyen a keresztirányú megnyúlás csökken, ezért mindkét helyen ki kell számolni a főfeszültségeket a lemez alján és tetején.



8. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék alatti behajlások 20 cm mechanikai stabilizáción + 15 cm 2000 MPa modulusú aszfaltrétegen, 25 MPa teherbírású talajon.



9. ábra: 10 t tengelyterhelésű ikerkerék alatti behajlások 20 cm mechanikai stabilizáción + 15 cm 2000 MPa modulusú aszfaltrétegen, 25 MPa teherbírású talajon.

Térbeli feszültségállapot esetén:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot \sigma_x - \mu \cdot (\sigma_y + \sigma_z); \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} \cdot \sigma_y - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_z); \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E} \cdot \sigma_z - \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\text{A hajlítás miatti } \sigma_{zh} = 0, \text{ ebből}; \quad \varepsilon_x = \frac{1}{E_r} \cdot \sigma_x - \mu \cdot \sigma_y; \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E_r} \cdot \sigma_y - \mu \cdot \sigma_x$$

$$\sigma_x = E_r \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_y \cdot \mu) / (1 - \mu^2); \quad \sigma_y = E_r \cdot (\varepsilon_y + \varepsilon_x \cdot \mu) / (1 - \mu^2)$$

A geometria miatt a  $\sigma_x$  és a  $\sigma_y$  is főfeszültségi irányok, ezért közvetlenül hozzá adhatók a terhelésből számított főfeszültségekhez:

$$\sigma_z = \sum_i^n (\sigma_{zi})$$

$$\sigma_r = \sum_i^n (\sigma_{ri} \cdot \cos^2 \alpha_i + \sigma_{\alpha i} \cdot \sin^2 \alpha_i) \quad \text{„X” irányú főfeszültség}$$

$$\sigma_\alpha = \sum_i^n (\sigma_{\alpha i} \cdot \cos^2 \alpha_i + \sigma_{ri} \cdot \sin^2 \alpha_i) \quad \text{„Y” irányú főfeszültség}$$

ahol:  $\sigma_{zi}$  az i. koncentrált erőből származó „Z” irányú feszültség a vizsgált ponton  
 $\sigma_{ri}$  az i. koncentrált erőből származó „r” irányú feszültség a vizsgált ponton  
 $\sigma_{\alpha i}$  az i. koncentrált erőből származó „ $\alpha$ ” irányú feszültség a vizsgált ponton

Főfeszültségek összeadása:

$$\sigma_1 = \sigma_z; \quad \sigma_2 = \sigma_r + \sigma_\alpha; \quad \sigma_3 = \sigma_\alpha + \sigma_y$$

Huber-Mises-Hencky-féle elmélet szerint a test akkor szenved törést, kerül képlekeny állapotba, ha a fajlagos torzítási energia a  $\tau_0^2/2G$  értéket eléri<sup>[12]</sup>.

G - a nyírási modulus.

A tiszta nyíráshoz, nyomáshoz ill. húzáshoz tartozó (törési) folyási feszültség az alábbi összefüggéssel számítható:

$$\tau_0 = 0,578 \cdot \sigma_0$$

$$\sigma_0^2 = 0,5 \cdot \{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2\}$$

A hajlításból származó E nem az  $E_t$  teljes alakváltozási, hanem  $E_r$  rugalmassági modulus. Ha az  $E_t$  alakváltozási modulusal számolunk, akkor az  $E_r = E_t \cdot (1 + \varepsilon_o/\varepsilon_r)$ , ahol  $\varepsilon_r$  rugalmas alakváltozás,  $\varepsilon_o$  nem rugalmas alakváltozás. A nem rugalmas alakváltozás az aszfalt fáradásának előre haladásával növekvő érték és nem elhanyagolható mértékű.

A leírt analitikus módszerrel a végtelen féltér bármely pontján számítható a  $\tau_0$  törő feszültség, ami összehasonlítható az abban a pontban lévő anyag  $\tau_{sz}$  törő szilárdságával.

Aszfaltkeverék, beton és talaj esetén eltér a tiszta nyomás esetén mérhető nyomószilárdság  $\sigma_{u,c}$  és a tiszta húzáskor mért húzószilárdság  $\sigma_{u,t}$  (10. ábra).

Coulomb szerinti törés, akkor következik be, ha Mohr körök elérik  $\tau = c_u - \sigma_u \cdot \tan \alpha$  egyenest.

A főfeszültségek tiszta húzás esetén  $\sigma_{u,t} = \sigma_1; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ , tiszta nyomásnál,  $\sigma_{u,c} = \sigma_3; \sigma_2 = \sigma_1 = 0$ .

Körtárcsa tengelyében h mélyen a pályaszerkezet felszíne alatt a főfeszültségek  $\sigma_{h,t} = \sigma_1 = \sigma_2; \sigma_{h,c} = \sigma_3$ .

A fáradási élettartam  $N = (c_u / c_h)^x$  elvileg számítható, de nincs ismeretünk az „x” hatványkitevő értékéről.

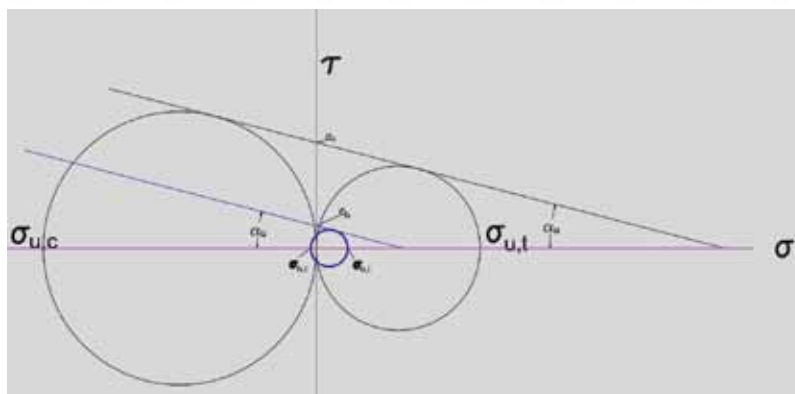
Az  $N = (c_u / c_h)^x$  összefüggés valójában a logaritmus alapú Whöler örbe exponenciális formájú közelítése  $\ln(N) = x \cdot \ln(c_u / c_h)$ . Az MSz EN 12697-24:2004 „D” melléklete szerint négyponos hajlítóvizsgálat eredményeül kapott  $\ln(N) = A0 + A1 \cdot \ln(\varepsilon)$  is ezen az elven alapul, de a vizsgálat nem a tiszta húzáson történik, hanem azonos nyomó  $\sigma_{u,c}$  és húzófeszültségek  $\sigma_{u,t}$  között, kontrollált megnyúlás mellett.

Mivel  $\sigma_{u,c} > \sigma_{u,t}$ , ezért a négyponos hajlító vizsgálat nyomott oldalán a fáradási élettartam lényegesen nagyobb, mint a húzott oldalon. A vizsgálat természetéből adódóan N fárasztási eredmény fele nyomott, fel húzott oldali lesz, de nincs figyelembe véve a Miner féle elv, nem ismerjük, mert nem mérjük a  $\sigma_{u,c}$  nyomószilárdságot és a  $\sigma_{u,t}$  húzószilárdságot, ezért a vizsgálati eredmény általános a vizsgáltól eltérő terhelési, fárasztási körülményre nem alkalmazható, annak ellenére, hogy ez viszonylag egyszerűen megtehető lenne.

Valós terhelési körülmények között egy kiválasztott réteg alsó felületén a terhelés tengelyében (10. ábra) a húzó feszültség  $\sigma_{u,t} = \sigma_2 = \sigma_1$ , a nyomófeszültség  $\sigma_{h,c} = \sigma_3$ , ami jelentősen eltér a vizsgálati körülményektől. A pályaszerkezet legfelső rétegénél, közvetlenül a kerékabroncs alatt az eltérés még jelentősebb, mivel ezen a helyen mindhárom főfeszültség nyomásnak lesz kitéve, vagyis a Mohr fő kör átmérője lecsökken, jelentős teherbírású pályaszerkezet esetén akár hidrosztatikus állapotba is kerülhet, ahol elméletileg nincs törés. Törési kritérium szerint a legkedvezőtlenebb hely a pályaszerkezet felületén az ikerabroncsok között van, mivel itt  $\sigma_1 = 0$  mindig és  $\sigma_2 = \sigma_3$  maximum közeli állapotban van, tehát a Mohr fő kör átmérője maximum közeli. Az MSz EN 12697-24:2004 „D” melléklete szerint négyponos hajlítóvizsgálat az ikerkerékek közötti feszültség állapotot modellezi a legjobban.

A modell, akkor lenne szinte tökéletes, ha a vizsgálati feszültség 0 és a kontrollált fajlagos alakváltozásból adódó húzófeszültség között lenne.





10. ábra: Coulomb-féle törési feltétel

## 6. A jelenleg hatályos pályaszerkezet méretezési módszer elemzése

A hatályos e-UT 06.03.13 UME 7.2 ábrában található megengedett behajlások, ill. az  $S_{eng} = a \cdot (N)^{-b}$ , ahol  $N$  a 100 kN-os egységterhelések áthaladások száma. Az  $S_{eng}$  fáradási görbe logaritmikus összefüggésű és a Benkelman behajlási mérési módszer alapján a terhelés teljesen egyezik az általunk felvett terhelési móddal.

A Benkelman tartót minden esetben az iker abrónccok közé helyezük, és mindig a legnagyobb behajlást mérjük az MSZ 2509 szerint. A terhelés sebessége nem értelmezhető, de nagyon lassú közelít a 1,0 mm/perchez. Ennek azért van jelentősége, mivel a sokáig használt AB és JU típusú „homok hasas” aszfaltok 20 °C-on mért alakváltozási modulusa ~1800-2100 MPa ezen a terhelési sebességen.

A fáradási görbét úgy állapították meg, hogy a tavaszi ill. a legkedvezőtlenebb altalaj teherbírási viszonyok legyenek figyelembe véve a méretezőskor. Ezt a célt ill. követelményt szolgálja az évszaki szorzó. Az előírás evvel akarja egyenértékűvé tenni a különböző altalaj teherbírási mellett végzett méréseket, más szóval arra kell törekedni, hogy a mért és az évszaki szorzóval korrigált behajlás már csak a pályaszerkezet teherbíráására, annak változására utaljon (4. ábra).

A 4. ábrát úgy is értelmezhetjük, hogy 20 MPa a mértékadó altalaj teherbírási, de a méréseket különböző hónapokban végeztük, amikor az altalaj teherbírási szélső esetben elérte a 60 MPa értéket, ekkor a helyes szorzó értéke 1,8.

Az 1,8 szorzó igen gyakori eset, amíg voltak etalon szakaszok és azokon folyamatos volt a teherbírási mérés, ennél nagyobb eltéréseket is mértek.

Az évszaki szorzók célja, tehát az altalaj hatásának kizárása, amit a görbületi sugár ismeretében az évszaki szorzó nélkül is biztosítani tudunk.

A másik cél az aszfalt-pályaszerkezet mérési körülményeinek korrigálása egy összehasonlítható hőmérsékletre korrigálása. Az előírás itt nem koherens, mivel az összehasonlítható hőmérséklet 20 °C, míg a mértékadó behajlásnál a tavaszi 5 °C-os hőmérsékletet veszi alapul. Korábban a statikus terhelésre jellemző 4000 MPa értékkel számolt, ez a fáradási görbék alapja, sőt ez található a típus pályaszerkezetek aszfaltvastagsága mögött is, vékonyabb rétegek esetén, míg az erősítésénél már a dinamikus terhelésből származó 8000 MPa a mértékadó aszfalt alakváltozási modulusot vesz figyelembe.

A 4000 MPa felvétele az indokolt, hiszen a tavaszi kritikus altalaj teherbírási időszakban jogos az 5 °C-os aszfalt-pályaszerkezet feltételezése, ha a teherbírási méréseket

a Benkelman tartóval végzett mérésre alapozzuk, jelenleg ezt rögzíti az UME. Megjegyezzük, hogy a korábban igen gyakran használt JU, KAB és ÉHA aszfaltkeverékek nem érik el ezt az értéket, a hígított bitumenes rétegek, ezt meg se közelítik.

A méretezési eljárás másik igen lényeges alapja, hogy az ikerabrónccot egy 163-165 mm sugarú hajlékony tárcsával helyettesítették. Ennek csak és kizárólag az az oka, hogy a tárcsa tengelyében az egyenes feszültségeloszlásból származó terhelés következtében előálló függőleges összenyomódások integrálja csak a tárcsa tengelyére volt kiszámítva. A Rodcont-modell lényege éppen az, hogy az integrálási probléma megoldásán keresztül a számítási gondot feloldja, így analitikai módszerrel bárhol számítható a függőleges irányú összenyomódás.

A jelenlegi élettartam görbének  $S_{eng} = a \cdot (N)^{-b}$  első sorban nem mechanikai, hanem az út használhatóságát, szubjektív megfelelőségét tartalmazza. Ez a megközelítés nem feltétlen kerülendő, hiszen az úthasználót kevésbé érdekli a pályaszerkezet mechanikai viselkedése, neki csupán jó közlekedési komfortot biztosító út kell.

## 7. Pályaszerkezet fáradási élettartamát befolyásoló hőmérséklet

Elterjedt vélekedés, hogy a pályaszerkezetben a kritikus feszültséget a tavaszi hóolvadáskori időszak okoz. Ekkor általában alacsony az altalaj teherbírási és a hideg miatt az aszfalt pályaszerkezet merevvé válik, az alakváltozási modulusa megnő, és a feltételezés szerint ez okoz kritikus feszültségeket.

Egy adott pályaszerkezet esetén valóban nagyobbak lesznek a kialakuló feszültségek, mint a nyári időszakban, de az alakváltozási modulusal arányosan a törő szilárdság is megnő, ezért nem ez lesz a kritikus időszak.

Kivételt képeznek ez alól az aluméretezett 130 mm aszfaltvastagságnál vékonyabb pályaszerkezetek, és azok a szerkezetek, ahol nincs megfelelő vastagságú fagyvédő réteg, ill. azok a pályaszerkezetek, amelyek a megfelelő tömörítés hiánya miatt jelentős utótömörödést szenvednek el. Az utólagos tömörödésből keletkező behajlások különösen a tavaszi időszakban okozhatnak az aszfalttréteg törőszilárdságát meghaladó törő feszültséget. Ebbe a csoportba tartoznak a hígított bitumenes rétegek is, ha az útburkolat felszínéhez közel esnek, alsóbb rétegekben szerepük e tekintetben elhanyagolható.

A fáradást meg kell különböztetni a hőmérséklet csökkenéséből származó, jelentős mértékű termikus feszültségektől, ami egy terhelés nélküli pályaszerkezet tönkremenetelét is okozhatja, de ezt most nem tárgyalom.

A pályaszerkezet fáradási élettartamára a legkedvezőtlenebb időszak a nyári meleg. Ekkor az alakváltozási modulus értéke drasztikusan lecsökken, amit arányosan a törőszilárdság csökkenése is követ, de a forgalmi terhelés nem változik, így a pályaszerkezetben keletkező feszültségek jobban közelítenek a törési határhoz pl. Coulomb-Mohr-féle törési kúphoz.

Az aszfalt-pályaszerkezet hőmérsékletének növekedése kedvezőtlenül hat a görbületi sugárra, annak értékét jelentősen csökkenti, ennek következtében nő a hajlításból ere-

dő megnyúlás. A megnyúlás mértékét részben kompenzálja az alakváltozási modulus csökkenése. Kisebbségi feszültség alakul ki azonos megnyúlás, de kisebb alakváltozási modulus esetén. A terhelésből származó feszültségek azonban nem csökkennek, sőt az alakváltozási modulus csökkenésének következtében növekednek, ez okozza a nagyobb lehajlást és a kisebb görbületi sugarat.

Az aszfalt nyomó és húzószilárdságának változása szinte azonos mértékű az alakváltozási modulus változásával, jóval a törőfeszültség alatti terhelés esetén. Az aszfalttréteg élettartamának végén és főleg nyári melegben ez a feltétel egyre kevésbé teljesül.

A jelenlegi méretezési módszer az egész évi változó hőmérsékleti hatást együtt kezeli, veszi figyelembe, és nem tesz különbséget az eltérő időszakok jelentős hőmérsékleti különbségei között.

Helyes törekvés, hogy az évi eltérő hőmérsékletű időszakokat külön vegyük figyelembe a fárasztó hatásuk súlyának megfelelően<sup>10/</sup>. Arra azonban mindenképpen törekedni kell, hogy az új módszer illeszkedjen az ismert, bevált élettartam görbéhez.

A méretezési módszer és az aszfaltkeverékekre vonatkozó követelmények alig tartalmaznak mechanikai követelményeket.

Az aszfaltkeverékek fáradási ellenállását is csak nagy forgalmi igénybevételek esetén vizsgáljuk (mF) vagy (mI) aszfaltkeverékekre, amelyek aszfaltmechanikai tulajdonságai egyébként is lényegesen jobbakként is lényegesen jobbakként is lényegesen alapjaul szolgáló mértékadó aszfaltkeverékek, de ezen kedvező hatások figyelembe vételére jelenleg nagyon korlátozott a lehetőség.

Példaként két azonos keveréket, de eltérő modifikálási módszert alkalmazó aszfaltkeveréket mutatok be. Az egyik AC 22 kötő (mF) 25/55-65 SBS-el modifikált bitumént tartalmaz.

MSZ EN 12697-24:2004 „D” melléklete szerint négyponos hajlítóvizsgálatot több mintán és több fajlagos megnyúlás mellett végezzük, de minden mintához meghatározzuk a kezdeti alakváltozási modulusot. A kezdeti alakváltozási modulus és a felvett fajlagos megnyúlás alapján a kezdeti feszültség is számítható. A vizsgálatsorozat (11. ábra) a kezdeti feszültség és fajlagos megnyúlás alapján is ábrázolható, ahol a vizsgálat végét jelentő alakváltozási modulus felére csökkenést is ábrázoltuk a legjobb regressziót biztosító kezdeti alakváltozási modulus segítségével P2000 esetén 6610 MPa, SBS esetén 4111 MPa. Az így számított alakváltozási modulus nem egyezik a vizsgálatsorozatban felvett alakváltozási modulusok átlagával.

A vizsgálat módszeréből adódóan a nagyobb kezdeti alakváltozási modulusú aszfaltkeveréket mindig magasabb terhelési szinten vizsgáljuk.

A 10<sup>6</sup> teherismétléshez tartozó kezdeti merevség felé-

re csökkenést mindkét esetben közel azonos kontrollált (microstain) 178 és 176 okozta.

P 2000 esetén a kezdeti merevség pedig 6610 MPa, a keverék hasító-húzó vizsgálat szerinti korrigált merevségi modulusa 8 179 MPa volt, míg az SBS esetén a kezdeti merevség pedig 4411 MPa, a keverék hasító-húzó vizsgálat szerinti korrigált merevségi modulusa 5 984 MPa volt.

Helytelenül a vizsgálati eredményből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a két aszfaltkeverék fáradás szempontjából egyenértékű.

Nem nehéz belátni, ha a P2000 aszfaltkeveréket is azon a feszültség szinten vizsgáltuk volna, mint az SBS-t, akkor az SBS-nél lényegesen magasabb N fáradási élettartamhoz jutnánk.

Mindkét esetben kitudjuk számolni a 10<sup>6</sup> teherismétléshez tartozó (microstain) alapján a kezdeti feszültséget, P2000 esetén  $6610 \cdot 176 / 10^6 + 0,1208 = 1,283$  MPa, SBS-nél  $4111 \cdot 178 / 10^6 + 0,0939 = 0,8257$  MPa.

A vizsgálati paraméterek

P2000-nél,  $\mu_{strain} = 2086,6 \cdot 10^{(6 \cdot -0,179)} = 176$ ,  
SBS-nél,  $\mu_{strain} = 2422 \cdot 10^{(6 \cdot -0,189)} = 178$ .

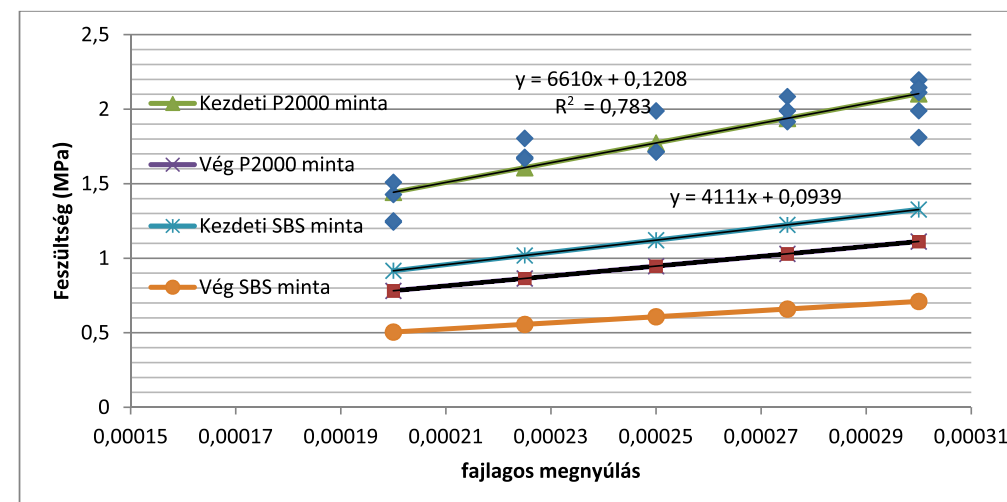
Ha a P2000-et 0,8257 MPa terhelnénk,  $0,8257 = 6610 \cdot Y / 10^6 + 0,1208$  összefüggésből  $Y = 107 \mu strain$ .  
 $A 2086,6 \cdot N^{(-0,179)} = 107$  ől,  $N = 16,1 \cdot 10^6$

A számítás fordítva is elvégezhetjük. Meghatározzuk, hogy az SBS 1,283 MPa terhelés mellett milyen „N” fárasztási ciklusra csökkenne.

Ha az SBS-et 1,283 MPa terhelnénk,  $1,283 = 4111 \cdot Y / 10^6 + 0,0939$  összefüggésből  $Y = 289 mstrain$ .  
 $A 2422 \cdot N^{(-0,189)} = 289$  ől,  $N = 0,0767 \cdot 10^6$

A számításul kapott érték már bőven túl van a vizsgálati tartományon, ezért azt felhasználni nem lehet, de jól jelzi a próbatest alakváltozási modulusának jelentőségét.

A kétféle aszfaltkeverék gyakorlati összehasonlíthatósága végett 40 MPa teherbírási talajra helyeztük és azt kerestük, hogy milyen pályaszerkezet vastagság mellett lesz az 50 kN terhelésű 165 mm átmérőjű hajlékony tárcsa tengelyében a pályaszerkezet alsó felületén a fajlagos alakváltozás értéke a vizsgálati értékkel azonos (1. sz. táblázat).



11. ábra: Vizsgálati feszültség alakulása a kezdeti alakváltozási modulus feléig csökkenéséig P2000 és SBS minta esetén.



Eset	$\sigma_o$ kPa	vtg.	$\sigma_{u,t}$ kPa	behajlás	$\mu_{strain}$		Tervezési élettartam "N"
1.	1822	158,5	1786	0,751	176	P2000	247 180
2.	1760	158,5	1711	0,876	271	SBS	114 470
3.	1155	201	1124	0,7	178	SBS	351 336
4.	1180	201	1156	0,598	114	P2000	772 159
5.	1316	187	1280	0,75	204	SBS	248 832

1.sz táblázat: Különböző vastagságú SBS és P2000 rétegek alatt kialakuló feszültségek, megnyúlások, és behajlások.

A P2000 alatt 166 mm vastagság 1. eset lesz  $176 \mu_{strain}$ , míg az SBS-nél a 3. eset 210 mm-nél lesz  $178 \mu_{strain}$ .

A 2. és a 4. eset páros összehasonlítást tartalmaz, ahol azonos vastagság mellett az e-ÚT 06.03.13 szerint hajlékony pályaszerkezetre számítottam a tervezési élettartamot. A behajlásokat és a kialakuló feszültségeket a Rodcont modellel számítottam. A tervezési élettartam mindkét esetben kétszeresre adódott. Azonos behajlás ill. tervezési élettartam mellett 5. eset lehet számolni a két aszfaltkeverék szükséges vastagságának különbségét is, amely a példában 30 mm-re adódott.

## 8. Összefoglalás

Aszfalttechnológiai szempontból azok a keverékek jók, amelyeknek magas a húzó és nyomószilárdsága, magas a fáradási élettartamuk, hajlítás esetén magas a mértékadó hajlítási fajlagos megnyúlása, és nagyon jó a deformációval szembeni ellenállása, valamint az előzőkre figyelemmel a lehető legmagasabb az alakváltozási modulusa.

Nagy igénybevételű utakon már nem kerülhető el az asz-

faltkeverék mechanikai viselkedésének módosítása, modifikált bitumenekkel, vagy adalékanyagokkal ilyen pl. a P2000. Nagyon előnyös lehet a modifikált bitumen más adalékanyaggal együtt alkalmazása jobb aszfaltmechanikai tulajdonság elérése érdekében. Ilyen példa a GmB bitumen és a P2000 együttes alkalmazása, amellyel nagyon magas fáradási élettartam érhető el, a magas mstrain párosulhat a nagyon magas merevséggel a deformáció állóság jelentős javítása mellett.

A jelenlegi méretezési módszer nagyon nagy hátránya, hogy nem teszi lehetővé az e-ÚT 05.02.11:2018 „Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei”-ben igen szerényen rögzített teljesítmény paramétereknél lényegesen jobb aszfaltkeverékek alkalmazásából eredő előnyök figyelembe vételét az útpályaszerkezet méretezésénél.

A bemutatott analitikus Rodcont-modell, vagy a VEM alapú modellek megnyitják a lehetőséget a jelenleginél sokkal átfogóbb, pontosabb méretezés és az általánosan megfogalmazott követelményeket jobban kielégítő aszfalt-technológiai tervezés előtt, a jobb utazáskényelmet biztosító és tartósabb utak építése érdekében.

## Irodalom-jegyzék:

- 1/ Boussinesq, J.: Applications des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques. Paris, Gauthiers-Villars, 1885
- 2/ Odemark, N.: Investigation as to the elastic Properties of the soils and design of pavements according to the theory of elasticity. States Vaginstitut, Stockholm, 1949.
- 3/ Zsichla László: A mértékadó behajlás számítása mechanikai módszerrel. Közlekedésépítés- és mélyépítéstudományi szemle 1990. 10. szám, pp. 370-375.
- 4/ Zsichla László: Számítási módszer a behajlási teknő megbízható modellezéséhez. 2021.
- 5/ Karátson János; Horváth Róbert; Izsák Ferenc : Parciális differenciálegyenletek numerikus módszerei számítógépes alkalmazásokkal. 2013.
- 6/ Páczelt István, Nándori Frigyes, Sárközi László, Szabó Tamás, Dluhi Kornél, Baksa Attila: A végeselemes modellezés kontinuummechanikai alapjai. Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék, HEFOP-3.3.1-P-2004-06-0012
- 7/ Dr. Tamás, Péter; Bojtos, Attila; Décsi-Paróczy Annamária; Dr. Fekete, Róbert Tamás: Végeselem módszerek. 2014
- 8/ Edgar Alexandre Chong Cardoso: Non-destructive tests in roads and airfields A study of the Falling Weight Deflectometer. 2017, Técnico Lisboa.
- 9/ Király Tamás; Primusz Péter: A gumibroncs és az útpályaszerkezet érintkezési kapcsolatának elemzése végeselem módszerrel, Útügyi lapok, 2020, 8. évfolyam, 14. szám
- 10/ Tóth Csaba; Seoyoung Cho; Primusz Péter; Pethő László: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése hőmérséklet profil alapján ; Útügyi lapok, 2020, 8. évfolyam, 14. szám
- 11/ Peter Andrén and Carl A. Lenngren: Rolling Wheel Deflectometer/FWD Correlation Study. 2002, <https://www.researchgate.net/publication/281031536>
- 12/ DR. Kaliszky Sándor, DR. Szilágyi György, Általános Szilárdságtan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976
- 13/ Dr. Nemesdy Ervin Útpályaszerkezete méretezésének és anyagálladó-vizsgálatainak mechanikai alapjai 1985 BME Útépítési Tanszék Kutatási részjelentés I. 114. oldal

# Modern roncsolásmentes útdiagnosztikai eszközök

Dr. Tóth Csaba



egyetemi docens  
tanszékvezető  
BME Út és vasútépítési tanszék

Dr. Primusz Péter



egyetemi adjunktus  
BME Út és Vasútépítési tanszék  
Soproni Egyetem

## 1.Bevezetés

A közelmúlt és a jelen grandiózus útfelújítási programjai ismét a szűkebb szakmai érdeklődés homlokterébe emelték az ún. burkolatmegerősítési tervek mögött rejlő műszaki szabályozás erőnyeit és korlátait. Közismert, hogy a technológiai tervezés elméleti háttérét és műszaki követelményrendszerét az „e-ÚT 06.03.13: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” című ütiügyi műszaki előírás rögzíti. Ez az UME nemcsak, hogy a 2005-ös kiadása óta gyakorlatilag változatlan, de a azt megelőző évek átdolgozásai is inkább ráncfelvarrások voltak, mintsem jelentős korrekciók, megjegyezve, hogy ez a szabályozásunk azonban erős szakmai alapokon nyugszik és Nemesdy Ervin vezetésével a nyolcvanas évek végére kidolgozott elméleti alapok nemzetközi összehasonlításban is korszerűnek voltak tekinthetőek.

A burkolatmegerősítési eljárás aktualizálási igényeiről már számos formában és fórumon szövegteltek, ezen érvek szakmai körben ismertek, felemlítésük jelen cikkben szükségtelen. A felújítási programok volumene, a felújítási tervek előkészítésére és elkészítésére fordítható tervezési idő drasztikus csökkenése azonban nemcsak egyre markánsabban mutatja a szabályozás átdolgozásának szükségességét, de azt is igazolja, hogy egy „szokásos átdolgozás” vélhetően nem tudja megoldani az új társadalmi, gazdasági és - nem mellékesen - vállalkozói igényeket. A felújítás-tervezés új alapokra helyezésére lenne szükség. Társadalmi igények alatt például a fenntarthatósági elvek gyakorlati figyelembe vehetőségét, az újrahazsnálat és -hasznosíthatóság megjelenését is érthetjük, amelyekre szintén az unalomig történt ismételtetés miatt nem térünk részletesen. Érdekesebb talán a gazdasági szempontok látens megjelenése, amelyek egyre markánsabban sejlenek ki a megrendelői diszpozíciók mögül, mintha a rendelkezésre álló források mértékének és az „eltakarandó útfelület nagyságának” egyszerű visszaosztása határozná meg a szükséges erősítő vastagságot. Ez a praktikus megközelítés azonban messze nem ördögtől való. Az

angolszász gyakorlat logikája közel áll ehhez, hiszen ott gyakran a tervezés kiinduló adata maga az erősítő vastagság és a tervező feladata az így nyert többletélettartam meghatározása. Ennek az „összintébb” megközelítésnek a hazai gyakorlatban is lehetne szerepe, és akkor nem kellene megerősöskölni az eljárásunk elvi alapjait.

Jelen cikkben a felújítástervezés egy alapvető fontosságú, de méltatlanul elfeledett és kidolgozatlanul hagyott területének fontosságára hívnánk fel a figyelmet: ez az állapotfelmérés és pályaszerkezet diagnosztika. A jelenlegi szabályozásunk méltatlanul röviden intézi el ezt a kérdést, a vonatkozó normaszöveg gyakorlatilag még a HUMU eredeti változatát idézi. Például a megerősítendő pálya állapotértékelése során az UME 7.2.7. pontban a földmű felső részének vizsgálata a makadampályák korából visszamaradt avított követelmény, de hasonlóan megfoghatatlan a megrendelői diszpozíciókban szereplő „vizuális állapotfelmérés kiértékelés, hibaterkép” készítés előírása is, ami a 7.2.2. pont alatt megjelenő „Hibafelvétel” című pontjára utal vissza, érdemi gyakorlati kapaszkodó nélkül, hiszen a megrendelő által kért hibaterképek formai és tartalmi követelményei homályosak, sajnos Boromisza Tibor és Schwáb János 1980-as „Útkárok okai”, illetve Schwáb János 1982-es „Aszfaltburkolatok hibakatalógusa” című munkák óta magyar nyelven nem jelent meg átfogó publikáció.

Erre tekintettel az alábbiakban az utállapotfelmérési lehetőségekről és azok rendszerszintű, összehangolt alkalmazásáról adunk áttekintést. Meggyőződésünk, hogy a felelős útgazdálkodás a jövőben egyre erősebben fog támaszkodni az utállapot felméréseknél a fejlett roncsolásmentes eljárásokra. Ezek közé tartozik napjainkban az ejtő súlyos behajlásmérő berendezés (Falling Weight Deflectometer, FWD) és a földradar (Ground-Penetrating Radar, GPR). Ennek a két különálló diagnosztikai rendszernek az egyesítésével új szintre emelhető az utállapotfelmérés és így sokkal pontosabb pályaszerkezet diagnosztikák állíthatók fel. Ezt szemelőt tartva, jelen írás további célja annak megvizsgálása, hogy az FWD és GPR berendezések szoros integrációjának milyen jelenlegi és jövőbeni lehetőségei vannak.



## 2. Roncsolásmentes vizsgálatok

Az útpályaszerkezetek állapotának felmérésére a gyakorlatban két fő vizsgálati módszert különböztetünk meg: a roncsolásost és a roncsolásmentest.

Közismertek és a magyar gyakorlatban szinte kizárólagosan alkalmazottak a roncsolásos vizsgálatok, amelyek fűrt vagy kivágott mintákkal dolgoznak. Ezek a módszerek pontos eredményeket adnak, gondoljunk csak a vastagságmérésre, mégis számos hátránnyal is jár alkalmazásuk. Ilyen például a pályaszerkezetben okozott szerkezeti kár, vagy a valós idejű mérés lehetetlensége, valamint a mintavételek során okozott forgalmi zavar. Ennek fényében érthető, hogy manapság a helyszíni útállapotértékeléseknél a roncsolásmentes vizsgálatokat részesítik előnyben. A roncsolásmentes vizsgálatok fő előnye abban rejlik, hogy gyorsan és zavarásmentesen lehet nagymennyiségű mérést úgy végrehajtani, hogy közben nem okozunk kárt a vizsgált szerkezetben.

Ezért először érdemes részletesen áttekintünk azokat a leggyakrabban használt roncsolásmentes vizsgálatokat, amelyeket előszeretettel alkalmaznak az útpályaszerkezetek állapotfelmérésére. A műszaki megoldásokat tekintve ezek a technikák négy fő kategóriába sorolhatók, mint:

- a behajláson,
  - a rezgésen,
  - az elektromágneses jelenségen
  - és az egyéb fizikai elven alapuló módszerek.
- Az alábbiakban ezeket tekintjük át röviden.

### 2.1. Behajláson alapú módszerek

A pályaszerkezetek vizsgálatára széleskörben alkalmazott behajlás alapú módszerek azokat a diagnosztikai eljárásokat foglalják magukba, amelyek a pályaszerkezet rétegeinek merevségét a vizsgált réteg tetején vagy a burkolat felszínén mért alakváltozások alapján határozzák meg ellenőrzött statikus, kvázi statikus, vibrációs vagy impulzus terhelésekre. Ezek részletes ismertetése egy szakmai lapban nem indokolt, ezért ezeket csak röviden tekintjük át az alábbiakban.

#### 2.1.1.A tárcsás teherbírásmérő készülék

A tárcsás terheléssel az ellenálláson alapuló teherbíróképességi jellemzők határozhatók meg. A méréskor adott átmérőjű merev tárcsa lépcsős terhelés következtében előálló süllyedését rögzítjük, majd a terhelés és a bekövetkező összenyomódás közötti összefüggésből a földmű, az egyes útpályaszerkezeti rétegek vagy a teljes útpályaszerkezet teherbíróképessége a teljes alakváltozás alapján, különböző alakváltozási együtthatókkal jellemezhető.

#### 2.1.2. Benkelman-tartó és társai

A kifejlesztett módszer szerint a terhelt tehergépkocsi ikerabroncsai közé a maximális behajlás helyén egy a burkolatra támaszkodó vízszintes tengely körül forgó kart kell elhelyezni és a burkolat elmozdulását a kar másik végén mért elmozdulásból lehetséges meghatározni. A mérés közben a terhelő tehergépkocsi álló helyzetben van, így a terhelés statikus jellegű (Boromisza 1959).

Ezen a területen egy újabb fejlesztésnek tekinthető a

Geobeam, ami egy automatizált Benkelman-tartó, aminek a fejlesztése az 1980-as években kezdődött (fejlesztette Tonkin&Taylor). A fejlesztés fő célja volt megőrizni a kézi behajlásmérés egyszerű alapelvét úgy, hogy közben a teljes deformációs vonal automatikusan rögzíthetővé váljon minimális költségnövekedés mellett. A Geobeam jól használható, reprezentatív mérési eredményeket szolgáltat olyan esetekben is, amikor a vízzel telített földmű miatt az FWD eszközök már nem alkalmazhatóak megbízhatóan (konszolidáció kérdése).

Szintén új eszköz az EHT Delta roncsolásmentes kísérleti eszköz, ami már lehetővé teszi a behajlási medence háromdimenziós rögzítését. Az eszköz fejlesztése és kivitelezése az IGT (Institute for Geotechnical Engineering, ETH Zürich) közreműködésével történt, részletes ismertetése Rabaiotti (2008) dolgozatában megtalálható.

A Soproni Egyetemen 2012-ben kidolgozott továbbfejlesztett kézi behajlásmérő alapvetően három pilléren nyugszik (Markó, Primusz, és Péterfalvi 2012; 2013):

- A hagyományos Benkelman-tartók analóg mérőóráit digitális adatkimenettel rendelkező mérőórákra cserélték.

- A mérés közben a tehergépkocsi előrehaladását ultrahangos távolságmérővel rögzítik.

- A digitális szenzorok jelét egy központi vezérlő egység gyűjti, majd továbbítja az adatgyűjtő szoftvert futtató számítógép felé.

A mérőeszköz a burkolat egy pontjának függőleges elmozdulását oly módon rögzíti, hogy az elmozdulásmérő órák minden „leolvasásához” hozzárendeli az elektronika a kerékterhelés távolságát is. Az így nyert adatsor megfelelő előfeldolgozást követően előállítható a teljes behajlási teknő alakja.

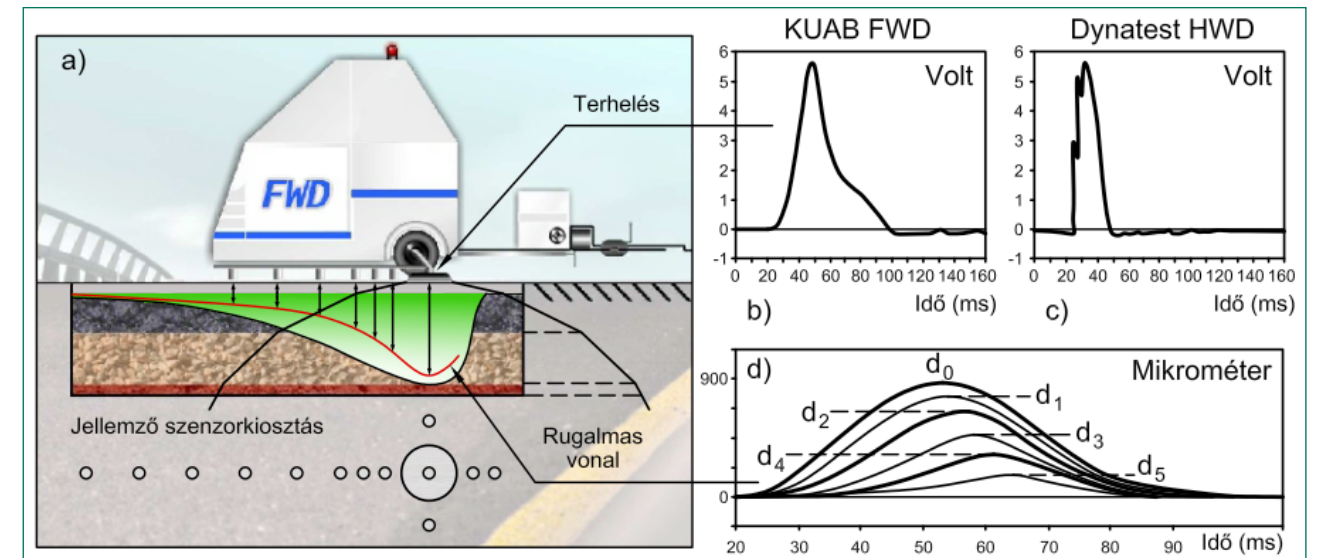
#### 2.1.3. Kézi görbületmérő

A behajlás legnagyobb értéke mellett szükséges annak megvizsgálása is, hogy a terhelő kerék közelében, hossz- és keresztirányban milyen alakú a behajlási teknő. A görbületmérő berendezéseket ezért kezdetben a statikus terhelés következtében kialakuló behajlási teknő görbületi sugarának közelítő meghatározásához fejlesztették ki. A görbületi sugár méréséhez először a moszkvai MADI-Egyetemen majd Müller F. készített egyszerű mérőműszert, amellyel már korán számos mérést végeztek.

A görbületi sugár jelentősége abban rejlik, hogy ha ismerjük a bitumennel kötött réteg vastagságát, valamint a kötött réteg felületén meghatározott görbületi sugár nagyságát, akkor a vizsgált réteg alján keletkező megnyúlások képlettel megbecsülhetőek (Boromisza 1997a):

#### 2.1.4. Behajlásmérés állandósult vibráló terheléssel

Az állandósult vibráló terhelés alatt történő behajlásmérés (Steady-State Dynamic Deflection) lényege az, hogy a teherátadás a vizsgált szerkezetre közel szinuszos lefutású és meghatározott időtartamú (Shahin 2005). A pályaszerkezetre jutó terhelés ilyenkor két részből tevődik össze: áll egy relatív nagy statikus előterhelésből, valamint egy szinuszhullámszerű dinamikus erőhatásból. A könnyű vibrátorok közé tartozik a Vibraflect, Dynaflect és a Road Rater. Napjaink újabb kialakítású nehézvibrátora a Rolling Dynamic Deflectometer.



1. ábra. Az FWD készülékek működési elve (saját szerkesztés)

### 2.1.5. Impulzusalapú behajlásmérés

A csillapított rezgéskeltésen alapuló mérési eljárásokat elsősorban pályaszerkezetek vizsgálatára fejlesztették ki. A rezgéskeltést egy-egy impulzus adja, az impulzusok időtartama a másodperc törtrésze. Többszöri impulzusok között ezek egymás közötti időtartama akkora, hogy a keltett rezgések egymást nem befolyásolják (Boromisza 1993). A gyakorlatban az impulzussal operáló behajlásmérő berendezések általában egy lökésállítóval ellátott tárcsára – a helyzeti energia felhasználásával – adott magasságból adott tömeget ejtenek le. Ezzel elérhető, hogy viszonylag kis tömeg mozgásával akkora nyomás adható át a vizsgált pályaszerkezetre, mint a sokkal nagyobb terhelést igénylő statikus módszerrel (1. ábra). A tömeg, a rugórendszer (gumiütköző csillapítás) és az ejtési magasság egymástól függetlenül állítható, hogy ezáltal a felületre az általunk kívánt terhelést felvihessük.

Az útpályára ható terhelési impulzus rugalmas alakváltozásokból áll, a terhelési centrumból kiinduló „hullámfrontot” eredményez, amely nagyságrendjében és időtartamában hasonló a mozgó nehézgépjárművek kerékterheléséhez. A függőleges elmozdulások maximális értékeit a terhelési lemez közepén, és több, a terhelési centrumtól sugárirányban elhelyezett geofonokkal vagy szeizmométerekkel rögzítik. Ezek a behajlások a terhelési impulzus függvényében jellemző a felépítmény szerkezeti szilárdságát. Az ezen elven alapuló berendezéseket általánosan ejtősúlyos behajlásmérő (Falling Weight Deflectometer, FWD) eszközöknek nevezik (1. ábra), amik egyaránt felszerelhetők járműre vagy pótkocsira és számos további érzékelővel is rendelkeznek.

A mérés alatt rögzített behajlási teknő lényegesen több információt szolgáltat a pályaszerkezet pillanatnyi állapotáról, mint a központi behajlás, így pontosabban határozható meg annak teherbírása, hátralévő élettartalma és a szükséges erősítőrétég vastagsága.

Egy adott pályaszerkezet esetében az alkalmazandó rehabilitációs eljárás kiválasztása igen nagy gazdasági jelentőséggel bír. A pályaszerkezet állapotának megfelelő ismeret

rete nélküli döntéshozatal igen költséges lehet. Az FWD berendezés által képzett adatok az egyes réteg-vastagságokkal kombinálva igen biztosan alkalmazhatók a burkolat helyszíni rugalmassági modulusának megállapítására. Az így kapott információk sorban felhasználhatók a szerkezeti elemzéshez a teherbírási meghatározására, a hátralévő élettartam becslésére, az erősítő réteg vastagságának meghatározására.

### 2.1.6. Automatizált behajlásmérő eszközök

A fent említett behajlásmérő eszközök egyik általános korlátja, hogy csak meghatározott (diszkrét) helyeken tudnak adatokat gyűjteni. Az akadálytalan adatgyűjtés és a lefedettség növelése érdekében a kutatók elkezdtek egy olyan behajlásmérő kifejlesztését, amely már folyamatos adatgyűjtésre képes. Ennek a törekvésnek a kezdetén még megőrizték a Benkelman-tartó alapelvét, csupán a mérési sebesség növelésére törekedtek. Tulajdonképpen a behajlásmérő berendezés felkerült a terhelő járműre, így a pálya egy adott pontjának maximális elmozdulását a jármű haladása közben automatikusan tudta regisztrálni.

#### 2.1.6.1. Lacroix-deflektográf

A Lacroix-deflektográf készüléket francia mérnökök fejlesztették ki abból a célból, hogy a pályaszerkezet alakváltozásait – a forgalmat jobban szimuláló – mozgó terhelés alatt tudják rögzíteni. A 3–4 km/h sebességgel közlekedő automatikus mérőkocsi két fő (gépkocsivezető és mérőtechnikus) személyzettel a hátsó ikerkerék abroncsok alatti behajlást 0,02 mm pontossággal, induktív elmozdulásmérővel méri úgy, hogy a kerekek a mérőkocsi alváza alatt elhelyezett, az útburkolaton álló mérőkar felé gördülnek. Az automatikus Lacroix-deflektográf mérőberendezéssel végzett munkát egyértelműen kényelmesebbnek, a kapott adatokat úgy merészték ki, mint statisztikailag megbízhatóbbnak kell minősíteni a kézi behajlásmérővel szemben (Kosztka és mtsai. 2008; Kosztka 2009; Baksay 1976).



### 2.1.6.2. Curviameter

Az első Curviameter berendezést 1977-ben a Francia CEBTP intézményben fejlesztették ki, hajlékony és félmerev útpályaszerkezetek folyamatos teherbírásának mérésére, a haladási sebessége 18 km/h (5 m/s). A behajlásmérést egy 15 méter hosszú, teherautóra szerelt mérőlánccal végzi, amely a részrejt szenzorokkal együtt a hátsó tengely ikerabroncsai között halad keresztül. Ez érzékelhetően a Lacroix-deflektográf műszaki megoldásának tovább gondolása, ahol a behajlásmérő kar került időről időre a burkolatfelületre (Karoliny 2015).

Összehasonlító vizsgálatok alapján a Curviameter által rögzített központi behajlás csupán 2%-kal tér el egy Dynatest 8000 FWD-vel mért értéktől, ugyanakkor a terhelés tengelyétől távolodva a különbségek jelentősen megnövekednek (Karoliny 2015).

### 2.1.6.3. Rolling Wheel Deflectometer (RWD)

A Rolling Wheel Deflectometer (RWD) egy olyan mérőeszköz, amely az útpályaszerkezet behajlását tényleges forgalmi sebességgel mozgó félpótkocsi 177 kN nagyságú tengelyterhelése alatt méri. Ennek köszönhetően az útfenntartó szervezetek úgy tudnak folyamatos állapotadathoz jutni, hogy közben a forgalmi sáv lezárása – így annak költsége és biztonsági kockázata – nem terheli őket. Az RWD berendezés más meglévő behajlásmérő technikával együtt is alkalmazható, például az ejtő súlyos behajlásmérővel (FWD). Az RWD gyorsan és pontosan képes a problémás útszakaszok azonosítására, melyeket aztán FWD mérésekkel tovább és részletesebben lehet elemezni (Van 2008).

### 2.1.6.4. Rolling Dynamic Deflectometer (RDD)

A folyamatos behajlásmérők másik csoportjába tartozik a Rolling Dynamic Deflectometer (RDD), ami egy viszonylag új mérés technika a dinamikus vibrációs eszközök között. Az eszközt a Texasi Egyetemen fejlesztették ki az 1990-es években (Bay és Stokoe 1998). Működési elvét a harmonikus rezgékeltésen alapuló eljárások adják, a legnagyobb eltérés abban van, hogy itt a mérés folyamatosan történik. A készülék célja, hogy a központi behajlás nagyságának változását folyamatosan lehessen rögzíteni kontrollált terhelési körülmények között. A nagyszámú mérési eredményekkel pedig viszonylag könnyen felderíthetők a nem megfelelő teherbírású útszakaszok (Huang 2004).

Az RDD készülék alapját egy szervohidraulikus rendszer adja, amellyel a dinamikus terhelés előállítható. A dinamikus terhelést két acélkerék segítségével adja át a pályaszerkezetre.

### 2.2. Harmonikus rezgékeltésen alapuló módszerek

Mechanikai hullámnak nevezzük az alakváltozás (deformáció) terjedését rugalmas közegben. Az elektromágneses hullámmal ellentétben, amely elektromágneses zavarként terjed a vákuumban is, a mechanikai hullámoknak közvetítő közegre van szükségük.

Valamely rezgőforrásból kiinduló hullámoknak alapvetően két fő típusa van: testhullámok és felületi hullámok. Testhullámokról akkor beszélünk, ha a szeizmikus hullám a rugalmas közeg deformációja révén terjedő energia megnyilvánulási formája. A testhullámok tovább oszthatók a hullám terjedése alapján:

- longitudinális vagy kompressziós hullámra: az anyag-részecskék a hullámok terjedési irányba eső mozgást végeznek;

- és transzverzális vagy nyírási hullámra: a részecskék a terjedési irányra merőlegesen mozognak.

A longitudinális hullám egyéb elnevezése a primer hullám, vagy P-hullám, a transzverzális hullámé a sekunder hullám, vagy S-hullám.

A testhullámokon kívül a szabad felszín közelében felületi hullámok is megfigyelhetők, amik a réteghatárok mentén terjednek. A felszíni hullám terjedési módja kétféle: a terjedési iránynak függőleges síkjában történő elliptikus mozgás (Rayleigh-hullám) vagy a terjedési irányára merőlegesen, vízszintes síkban való mozgás (Love-hullám).

Az útpályaszerkezetek állapotértékelése során jellemzően 3 módszert használnak: a visszhangalapú (Impact-Echo), az ultrahang hullámok terjedési sebességén (Ultrasonic Pulse Velocity, UPV) és a felületi hullámsebesség-mérésen (Spectral Analysis of Surface Waves, SASW) alapuló eljárást.

#### 2.2.1. A visszhangalapú (Impact-Echo) vizsgálat elve

A visszhangos (Impact-Echo) roncsolásmentes vizsgálati módszerrel jellemzően beton- és falazott szerkezetek vizsgálhatók úgy, hogy a szerkezetbe mechanikai hullámokat juttatunk egy acélgolyónak a felületre ejtésével. A mechanikai hullámokat a szerkezet határolófalra, vagy a szerkezetben lévő hibahelyek reflektálják. A vizsgálat eredményei alapján tehát lehetőség van a szerkezeti vastagság és az esetleges szerkezeti inhomogenitások (anyaghiba, geometriai folytonossági hiba) kimutatására.

#### 2.2.2. Ultrahang hullámok terjedési sebességén alapuló módszer

Már több mint 60 éve sikeresen alkalmazzák az ultrahang hullámok terjedési sebességén (Ultrasonic Pulse Velocity, UPV) alapuló módszert a beton minőségének értékelésére (Malhotra és Carino 2003). Napjainkban a kutatások szintén felvetik azt, hogy ez a módszer képes az aszfaltkeverékek dinamikus modulusának jó becslésére is (Pellinen és Witczak 2002; Jiang és mtsai. 2006).

#### 2.2.3. Felületi hullámsebesség-mérés (Spectral Analysis of Surface Waves, SASW)

A felszíni hullámok (a Rayleigh-hullámok) mérésén alapuló eljárások azt a megfigyelést használják ki, hogy a felszíni hullámok inhomogén, rétegzett rendszerben diszperziós hullámok. Rétegzett közegben a kis hullámhosszok terjedését leginkább a felszínhez közeli, míg a nagy hullámhosszok terjedését a mélyebb rétegek sebesség paraméterei határozzák meg. Az eltérő hullámhosszú (frekvenciájú) hullámok különböző sebességgel történő terjedése a diszperzió jelensége. A felületi hullámsebesség mérésén alapuló eljárások a mért adatokból előállítják a diszperziós görbét, a hullám frekvencia – fázissebesség függvényét, majd valamilyen inverziós eljárással megkeresik a hozzá leginkább illeszkedő rétegmódellet, amellyel így magának a rétegzett közegnek a keresett paramétereit is megkapják.

Ma már legalább két SASW módszerrel mérhető a pályaszerkezeti rétegek modulusának meghatározására, az egyik a szeizmikus pályaszerkezet-elemző (Seismic Pavement Analyzer, SPA), a másik ennek hordozható változata a Portable Seismic Pavement Analyzer (PSPA).

### 2.3. Elektromágneses elven működő módszerek

Az elektromágneses útdiagnosztikai módszerek a fizika elektromágneses felfedezésein alapulnak, mint pl. az indukció, a dielektromos állandó, az elektromágneses hullám, a mágneses rezonancia és az infravörös termográfia. A földradar is ebbe a kategóriába tartozik.

#### 2.3.1. Izotópos és elektromos tömörségmérők

A tömörség mérésére leggyakrabban használt eszköz az izotópos (nukleáris) sűrűségmérő. A műszerrel azonnal megadható a vizsgált szerkezeti réteg sűrűsége és víz-tartalma. Az eljárás jelentősége abban van, hogy gyors és roncsolásmentes, vagyis a vizsgált szerkezetet nem kell megbontani és helyreállítani.

Az izotópos térfogatsűrűség és nedvességmérési módszerek azon a megfigyelésen alapulnak, hogy a radioaktív sugárzás gyengülése vagy visszavert hányada a mérőrendszer körülvevő anyagmennyiség összetételétől és minőségétől függ. A mérés közben a radioaktív izotópból kilépő sugárakat detektorral észlelik, a vizsgált anyag tömörsége és nedvességtartalma pedig korrelál a detektor által befogadott gammasugarak számával.

Ehhez azonban előzetesen laboratóriumi tömörségvizsgálat elvégzésére van szükséges, amivel aztán az izotópos vizsgálat kalibrálható.

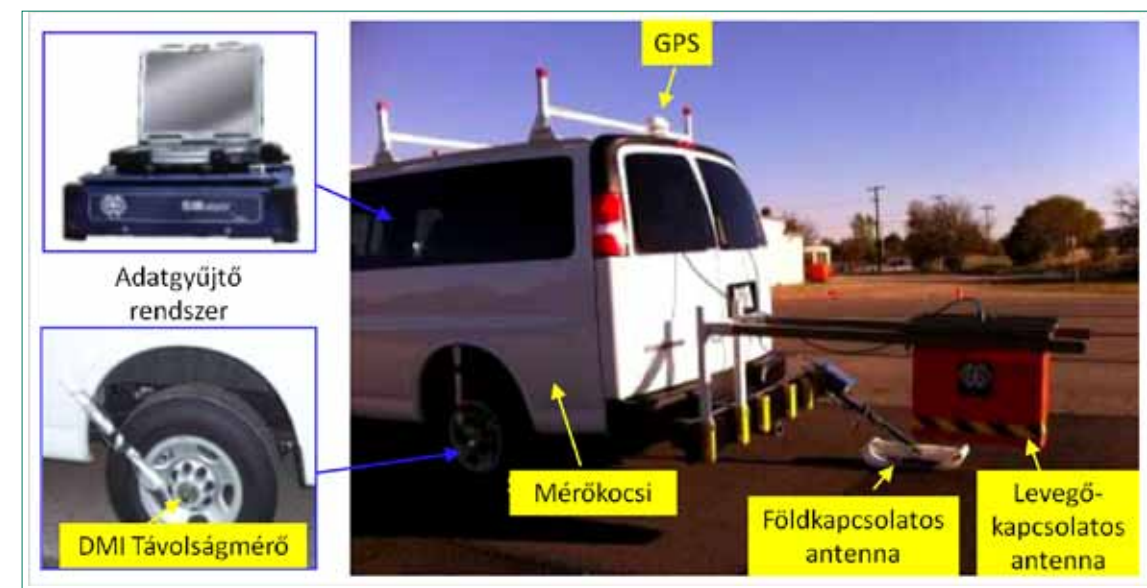
Ezek a műszerek kétféle üzemmódban működtethetők. Talajsűrűség méréshez fúrotűskével vagy csúszóalapúval a méréshez furatot készítenek, majd a forrásrudat a szükséges mélységig kitolják és az abszorpció mérést elvégzik. A sűrűségméréseket 25 vagy 50 mm-es lépésekkel végzik 200 vagy 300 mm-es mélységig. Aszfaltburkolat sűrűségmérésénél a műszert sima felületre helyezik, a forrásrudat visszazórás („backscatter”) állásba tesszük és a burkolat helyi sűrűségmérését elvégzik.

A módszer hátránya, hogy a vizsgálatokat jellemzően nagy térközzel végzik, és így a helyszíni fúrtmintavétel módszeréhez hasonlóan, csak korlátozott információt nyújt. Másik hátránya, hogy a nukleáris eszközök használatához speciális engedélyek szükségesek, mivel azok radioaktív anyagokat használnak.

Az elektromos tömörségmérés egy nemrégiben kifejlesztett módszer a tömörített talajok vagy aszfaltkeverékek vizsgálatára. A módszer a vizsgált anyag elektromos impedanciája (váltakozó áramú ellenállása) alapján határozza meg a tömörséget. A mért impedanciából a keverék dielektromos állandója kiszámítható. Egy háromfázisú rendszer (pl. aszfaltkeverékek) teljes dielektromos állandóját az egyes fázisalkotók térfogataránya és azok saját dielektromos állandója határozza meg. Ezért elvben egy több komponensből álló anyag relatív tömörsége az elektromágneses keverési szabályok alapján megbecsülhető, ha a szükséges kalibrálási eljárásokat elvégezzük. A módszer pontossága és megbízhatósága jelenleg is vita tárgyát képezi.

#### 2.3.2. A földradar (GPR) módszer

A földradar műszer jellemzően egy adó és egy vevő antenából, egy adatgyűjtő és vezérlő egységből, egy mérőkerékből és opcionálisan egy GPS-ből áll (2. ábra). A földradar adó része nagyfrekvenciás elektromágneses impulzusok sorozatát bocsátja a talajba. A hullámok a kőzetekben részben elnyelődnek, részben visszaverődnek. A visszaérkező jelet a vevő egység veszi az idő függvényébe, digitalizálja és az adatgyűjtő egység tárolja. Így a radarszelvényezés eredményeképpen kapott időmélység metszeten követhető a rétegződés, a földtani szerkezet, valamint minden, a felszín alatt lévő objektum vagy tárgy. Ha a radarhullám terjedési sebessége meghatározható, vagy legalábbis megbecsülhető a különböző rétegekben, az időszelvény mélységszelvényé alakítható át. A talajban, kőzetben a radarjel terjedése a vizsgált közeg fizikai, elektromos tulajdonságaitól függ. Ezek közül a két legjellemzőbb a dielektromos állandó (permittivitás) és a vezetőképesség (konduktancia), az első a hullámterjedési sebességet, míg a második az elnyelődés mértékét határozza meg. A behatolási mélység és a felbontás elsősorban a radarmérés közben kibocsátott jel frekvenciájától függ. Nagyobb frekvencia használata jobb felbontást, de kisebb kutatási mélységet eredményez, míg kisebb frekvencián nagyobb behatolást és rosszabb felbontást érünk el. Ezért nagyon fontos, hogy vizsgálatainkhoz a leginkább megfelelő eszközt és beállítást használjuk, hogy a kívánt eredményt kapjunk (Pattanyús-Á. és mtsai. 1994).



2. ábra. Tipikus GPR mérőkocsi (Al-Qadi, 2011)



<b>Útpályaszakasz általános minősége</b>	A rögzített jel homogenitása a pályaszerkezeti rétegének változásait jelzi. A dielektrikus állandó változása az anyag jellemzőinek változását tükrözi.
<b>Építési minőség</b>	Az aszfaltréteg vastagsága nagy pontossággal megállapítható.
<b>Burkolat (alap) törése</b>	A folytonosság hiánya vagy hirtelen szintkülönbségek általajproblémákat vagy az egyes rétegek nem kielégítő teherbíró képességét jelezheti.
<b>Betonlemez (és hézag) hibásodása</b>	A betontáblák meghibásodása, a táblák alatti üregesedés kimutatható, még egy takaró aszfaltréteg jelenlétében is.
<b>Hídpályalemez állapotvizsgálata</b>	A szemlélő elől eltakart hídpályalemez állapota felmérhető a radarvizsgálattal.
<b>Acél hídpályalemezre fektetett aszfaltbevonat vizsgálata</b>	A pontos vastagság felmérése mellett a varratok vagy egyéb objektumok helye pontosan megállapítható, és így az építési gépek vagy a hídlemez károsodása elkerülhető.

1. táblázat. A földradar alkalmazási lehetőségei (Petőcz, Schwáb, és Szarka 1999)

A GPR technológia nagy előnye a folyamatos nagysebességű adatgyűjtés, ezért számos közúti alkalmazása létezik (1. táblázat), mint pl. a nedvesség kimutatása a pályaszerkezetben, a burkolathibák pl. repedések helyének és mértékének detektálása, vagy akár az aszfalt- vagy földműanyagok tömörségének és homogenitásának megbecslése, vagy a keresztirányú repedések észlelése, rétegek elcsúszása, illetve annak a rétegnek a pontos beazonosítása, amelyben a plasztikus deformáció valójában kialakult. Mindezek ellenére a technológiát legelterjedtebben az útpályaszerkezetek rétegvastagságainak meghatározására használják (Plati és Loizos 2012).

### 2.3.3. Infravörös termográfia

A hőkamerás vagy hőtérképes vizsgálattal roncsolásmentesen, bontás nélkül alkothatunk képet a szerkezetek állapotáról. A módszer a felületek hőmérséklet különbségén alapul, a termikus kontúrvonalakat térképezi fel a vizsgált szerkezeten. Hajlékony útpályaszerkezeteknél jogosan feltételezhetjük, hogy az úthibák és az inhomogenitások lokális meleg vagy hideg területekként jelennek meg a termikus színtérképen. Az anomáliák minél pontosabb detektálásához szükséges, hogy egy atipikus (vagyis nem jellemző) hőmérséklet különbség alakuljon ki a vizsgált tárgyon.

### 2.3.4. Lézeres profilmérő

Az útburkolat egyenletesség talán az egyik legfontosabb jelzője az út használhatóságának az utazóközönség szempontjából. Az egyenletesség nem más, mint egy felület eltérése a szabályos síkfelületről olyan jellemző méretekkel, amelyek befolyásolják a járműdinamikát, a közlekedés minőségét és a vízvezetést, ilyen például a hosszirányú profil, a keresztirányú profil és a keresztirányú esés. Az úthasználók számára a hosszirányú profilban található hosszirányú eltérések a legfontosabbak (Makrai 2010).

Jellemzően kétféle profilmérő van ma alkalmazásban: a kontakt és az érintkezésmentes elven működő. A profilográfok egy merev rúdból vagy keretből és a hozzá

kapcsolt segédkerekekből állnak, amelyek megadják azt a síkot, amihez képest az eltérések mérhetők az eszköz közepén található – az útburkolattal folyamatosan kapcsolatban lévő – profilkerékkel. A profilográfokat kizárólag az útépités minőségellenőrzésére használják és mivel könnyűek, azonnal alkalmazhatóak, amint a finiser elhagyta az útburkolatot (Makrai 2010).

Az úthálózat egyenletlenségi állapotának felmérésére olyan profilmérő eszközöket fejlesztettek ki, amelyek képesek közötti sebességgel haladni. Ezek az eszközök érintkezés nélküli érzékelőket használnak (ultrahangos, lézer, infravörös vagy optikai), amelyekkel az alváz és az útfelszín közti relatív elmozdulásokat mérik és rögzítik. Mivel a mérésekben a valódi útprofil visszaállítható, határozottan előnyösebbek, mint a kontaktusos érzékelők dolgozó profilográfok.

### 2.3.5. Örvényáramos vizsgálatok

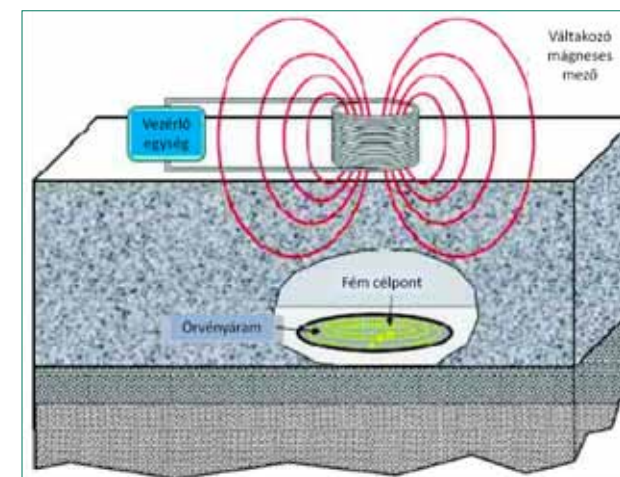
Az örvényáramos technikák az elektromágnesség elvét használják ki, és a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek közé tartoznak. A módszer fizikai alapját az adja, hogy amikor egy tekercsben váltakozó áram folyik ( $I_1$ ), akkor a tekercs körüli térben váltakozó mágneses mező indukálódik ( $H_1$ ). Ha egy másik vezetőt hozunk az első közvetlen közelébe, akkor a változó  $H_2$  mágneses tér örvényáramot ( $I_2$ ) generál a második vezetőben (3. ábra).

Az  $I_2$  örvényáram iránya olyan, hogy az általa létrehozott  $H_2$  mágneses mező a  $H_1$  mágneses mezőt gyengíteni igyekszik.

Az örvényáramos technológia az útpályaszerkezetek vizsgálatánál általában két fő területen hasznosul:

- Rétegvastagság mérés, ez esetben a réteg terítése előtt a fogadófelületre egy antipólust helyeznek, ami sok esetben a 4. ábra alapján egyszerű alumíniumlap.
- Betonburkolatoknál a vastagságmérésen túl (max. 500 mm) a keresztirányú vastagság pontos helyazonosítására is alkalmazzák.

A roncsolásmentes vastagságmeghatározás és az elektromágneses mérés részleteit szabatosan leírja „Az aszfaltburkolat vastagságának meghatározása” c. MSZ EN 12697-36:2003 szabvány (Pethő és Tóth 2010).



3. ábra. Örvényáramos vastagságmérés elve (Al-Qadi, 2011)



4. ábra. Rétegvastagság mérésnél az antipólus (Pethő és Tóth 2010)

## 2.4. Egyéb roncsolásmentes vizsgálati módszerek

A gyakorlatban még két további olyan roncsolásmentes vizsgálati módszert használnak az útpályaszerkezetek értékelésére, amik a korábbi kategóriák egyikébe sem fértek bele. Ezek az intelligens tömörítők és a felületi súrlódásmérő berendezések.

### 2.4.1. Intelligens tömörítők

Az intelligens tömörítők (Intelligent Compaction, IC) olyan úthengerek, amelyek valós idejű pályaszerkezet-minőség ellenőrzést végeznek. A hengerek olyan műszerekkel vannak felszerelve, amik valós időben dolgozzák fel a mért adatokat a gépkezelő számára. A tömörítés minőségét az úthenger dobjában, vagy annak környékén felszerelt gyorsulásmérőkkel folyamatosan figyelemmel kísérik, összevetik a kifejtett tömörítő erőt és frekvenciát a tömörített anyag reakciójával. A műszer leolvasásai ugyanazon meghatározzák a tömörítési munka hatékonyságát, de sokszor a tömörítésre adott reakciók számításánál felhasznált eljárások nem ismertek pontosan a mérnökök előtt szabaddalmi okokból. Az aszfalt úthengereknél további hőmérsékletmérő érzékelőket is felszerelnek az aszfalt anyagának felületi hőmérsékletének meghatározásához. Ez nagyon fontos, mivel a vibrációs tömörítés bizonyos hőmérsékleti tartományokon káros hatásokkal járhat. Bár ezek a hengerrel szerelt intelligens mérőrendszerek bizonyíthatóan előnyösebbek a munkaszervezés szempontjából, mégsem lehet csak rájuk támaszkodni. Ennek fő oka, hogy az aszfaltkeverékek merevsége a tömörségen túl, még erősen függ a hőmérséklettől, a terhelési frekvenciától és az alapréteg merevségétől is. Ezért az továbbra sem ismert, hogy az aszfaltmerevség mért növekedése a tömörség növekedésének vagy a hőmérséklet csökkenésének eredménye-e (Chang és mtsai. 2011).

### 2.4.2. Felületi súrlódásmérők

A menetbiztonság szempontjából kritikus fontosságú a megfelelő felületi súrlódás. Az útfelületek súrlódásának mérésére számos roncsolásmentes vizsgálati módszer léte-

zik. Ezeknél a módszereknél a mérés elve különböző lehet, de mindegyik a következő öt típus egyikébe tartozik: lassító, zárt kerekű, oldalsó erővel rendelkező, rögzített csúszású és változó csúszású eszközök (Loulizi 2001).

A lassításmérő berendezések a jármű lassulását mérik a teljes fékút alatt. Az egyik ismert eszköz, amely ezt az elvet alkalmazza az a Coralba meter, amit egyszerűen a jármű blokkolásgátlójára szerelnek fel. A lassításmérő eljárásához némileg hasonló a féktávolság-módszer (ASTM E445). A legtöbb amerikai állam a blokkolt (zárt) kerekű pótkocsikat használ a csúszási szám (skid number) mérésére, amelyet a súrlódási együttható (ASTM E274) százszorosaként határoznak meg. A vizsgálati abroncsot a pótkocsiban kell felszerelni, amelyet 64 km/h sebességgel vonatnak a mérőjármű mögött. A gumiabroncs elé vizet locsolnak, a fékrendszer a kerekek gördülését zárolja, majd a berendezés megméri az ellenállási erőt.

Az oldalsó erővel rendelkező eszközök a vizsgálati abroncsot szögben tartják a mozgás irányának szögével, hogy megmérjék a forgássíkra merőleges oldalról. A brit SCRIM 20°-os tengelyirányú dőlésszöggel a leggyakrabban használt ilyen típusú eszköz. Egy másik rendszer, amelyet több amerikai állam is használ, a Mu-Meter, amely a két elfordított kerék általi oldalról méri. A Mu-Meter eljárást ASTM E670-nek nevezik. A rögzített csúszású eszközök általában 10% és 20% közötti csúszás között kerülnek alkalmazásra. Ilyen vizsgálati eszköz például a FAA súrlódásmérő, a Saab Friction Tester és a Grip Tester. A változtatható csúszású eszközök az abroncs és az útfelület közötti csúszás függvényében mérik a súrlódást. Ezek az eszközök maximális információt nyújtanak a gumiabroncs és az útfelület súrlódási jellemzőiről. Ismert változó csúszású eszközök például a francia IMAG és a norvég Norsemeter RUNAR és ROAR rendszerek.

## 2.5. Összegzés

A korábbiakban tárgyalt roncsolásmentes módszerek összehasonlítását – a mért útpályaszerkezeti tulajdonságok szerint – a 2. táblázat foglalja össze. Az összehasonlítást a mért állapotadatok térfogati, szerkezeti és funkcionális lefedettsége alapján végeztük el. Lefedettség alatt az útpálya felülete vagy hossza értendő.



A módszer kategóriája	A módszer neve	A vizsgált tulajdonság típusa			Nagy lefedettségű mérés?
		Térfogati	Szerkezeti	Funkcionális	
Behajlások mérőeszköz	Statikus behajlómérő		X		Nem megvalósítható
	Egyensúlyi dinamikus behajlómérő		X		Nem megvalósítható
	Impulzus behajlómérő		X		Nem megvalósítható
	Folyamatos behajlómérő		X		Igen
Feszültség-hullám módszer	Impact eco módszer		X		Nem megvalósítható
	Ultrahang impulzus sebesség módszer		X		Nem megvalósítható
	Felszíni hullám spektrális elemzése		X		Nem megvalósítható
Elektro-mágneses módszer	Nukleáris/nem nukleáris tömörségmérők	X			Nem megvalósítható
	Geológiai radar	X	X		Igen
	Infravörös tomográfia	X			Igen
	Lézeres profilmérő			X	Igen
Egyéb	Intelligens tömörítő	X	X		Igen
	Felületi sűrűdasmérő berendezések			X	Nem megvalósítható

2. táblázat. A roncsolásmentes vizsgálati módszerek összegzése

A táblázat alapján megfigyelhető, hogy a geológiai radar, az infravörös termográfia, valamint a nem-nukleáris tömörségmérő berendezéssel felszerelt intelligens tömörítő mérőeszközök a potenciális roncsolásmentes módszerek az aszfaltpályaszerkezetek térfogati tulajdonságainak figyelemmel kísérésére. Mindhárom módszer nagy lefedettségű mérésre képes.

Az aszfaltkeverék tömörségének hőkamerával történő figyelemmel kísérése azon a feltételezésen alapul, hogy az aszfaltkeverék által kibocsátott hőenergia mennyisége a keverék sűrűségével hozható kapcsolatban. Azonban az infravörös kamera által felvett hőenergiát számos egyéb tényező is befolyásolja, például a környezeti hőmérséklet, a szél sebessége és az égbolt állapota. Emellett ez a módszer nem alkalmas számszerűsített tömörség-információk szolgáltatására. Az intelligens tömörítés elve magában foglalja a hengerdobok rezgési amplitúdójának és frekvenciájának beállítását a mért anyagmerevség alapján bizonyos automatikus visszacsatolási rendszereken keresztül. Mivel azonban az intelligens tömörítő által mért merevség nemcsak az aszfaltkeverék sűrűségétől, hanem számos más tényezőtől is függ – például a keverék hőmérsékletétől, a terhelési sebességétől, valamint alaprétreg merevségétől – ez a módszer sem képes kvantitatív tömörségmérésre.

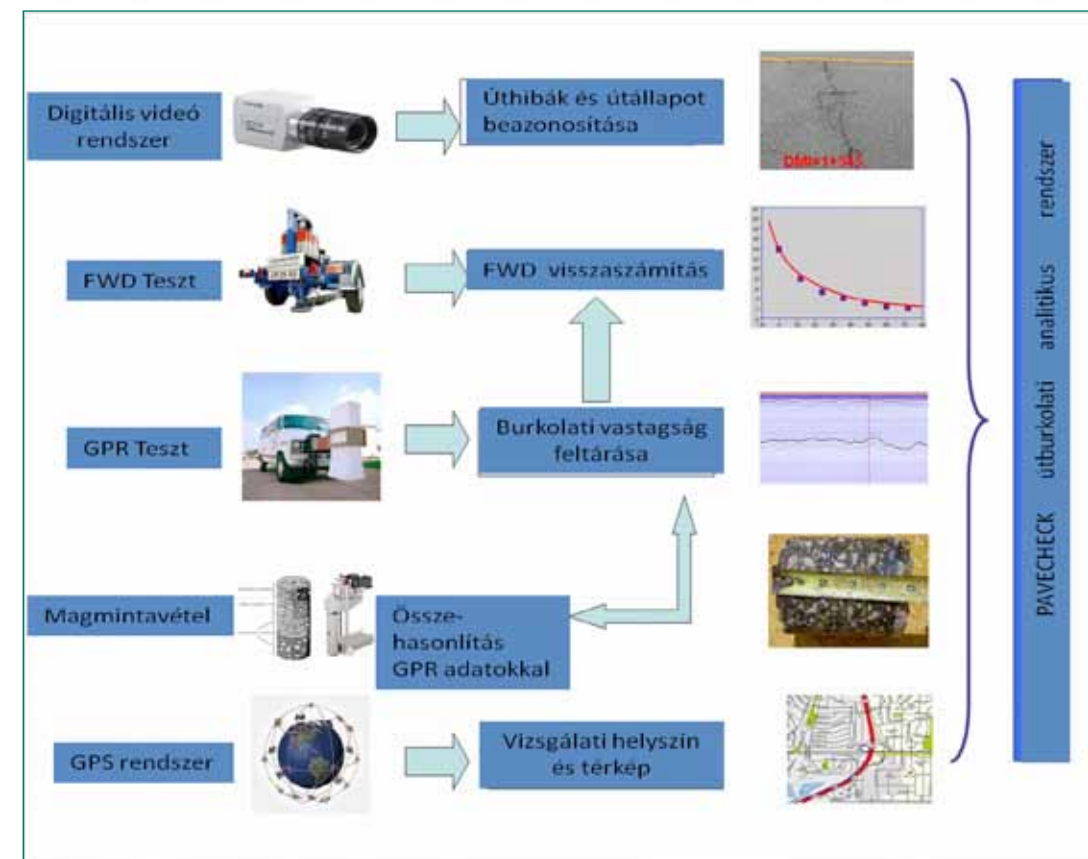
Másrészről, a keverék tömörségének földradarral történő mérésének alapelve az, hogy az aszfaltkeverék dielektromos állandója fizikailag összefügg az összetevőinek térfoga-

ti és dielektromos tulajdonságaival. Egy adott keveréknél a hézagtartalom térfogati változása megváltoztatja annak térfogat-dielektromos állandóját. Ennélfogva, ha a keverék alkotóelemeinek szükséges térfogati és dielektromos tulajdonságai ismertek, és a megfelelő matematikai modelleket kidolgozásra kerültek, a geológiai radar képes biztosítani az aszfaltkeverék kvantitatív tömörségének meghatározását annak dielektromos állandójának mérésével. Ezért az összes rendelkezésre álló roncsolásmentes módszer közül a geológiai radar az egyetlen módszer, amely folyamatos és kvantitatív mérést is kínál az aszfaltkeverékek helyszíni tömörségmérésére. Ezen kívül a módszerrel a pályaszerkezet szerkezeti tulajdonságai, mint a rétegvastagság, is meghatározásra kerülhet, valamint a pályaszerkezeten belüli hibák (például a víz felhalmozódás, nagy légüregek) is detektálhatók.

### 3. Integrált útdiagnosztikai rendszerek

#### 3.1. PaveCheck

A PAVECHECK szoftvercsomag az egyik olyan korai fejlesztés volt, ami lehetővé tette a különböző roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek egy rendszeren belüli komplex elemzését. Ezzel az útgazdálkodóknak minden olyan pályaszerkezeti adat a rendelkezésére állt a programon belül, ami egy átfogó állapot kiértékeléshez szükséges lehet. Az 5. ábra a PAVECHECK legfontosabb bemeneti adatait mutatja.



5. ábra. A bemeneti adatok és azok kapcsolata a PAVECHECK rendszerben (Liu, 2006)

A program koncepciója a Texasi Közlekedési Tárcától (TxDOT) származik, akik korábban az útpálya szerkezeti állapotának felmérésére az FWD és GPR rendszerek adatait egymástól függetlenül gyűjtötték és dolgozták fel. A PAVECHECK előtt a GPR méréseket a COLORMAP, az FWD adatokat pedig MODULUS 6.0. programmal elemezték ki. A COLORMAP egy felhasználóbarát GPR jelfeldolgozó szoftvercsomag volt, amivel az útpályaszerkezetek mélyebb rétegeiről lehetett információt kapni. A MODULUS 6.0 pedig az FWD adatok kiértékelésére használatos program. A TxDOT az 1990-es évek elejétől használta a MODULUS 6.0-át a burkolati rétegek szerkezetének elemzésére és rugalmassági modulusának kiszámítására. Nem volt egyszerű feladat a fent említett két lényegesen eltérő módszer összehangolása, mégis jelentős előny származott később a két rendszer kombinált használatából. Erre jó példa, hogy a korábban hibás vagy pontatlan tervdokumentációkból és magmintavételből származó valótlan rétegvastagságok komoly modulus meghatározási hibákhoz vezettek az FWD adatok visszszámolásakor. Ezzel szemben a GPR technológia a rétegvastagságok meghatározása mellett alkalmas volt a felszín alatti hibák azonosítására is.

Ezek lehettek az aszfaltkeverékek hámoló rétegei és a felszín alatti rétegek magas nedvesség tartalmú szakaszai. Mindkét fent említett úthiba magyarázhatja az FWD behajlásokból visszszámított modulus értékek változásait.

Az összegyűlt tapasztalatok és igények alapján a Texasi Közlekedési Tárca és a Texasi Közlekedési Intézet (Texas Transportation Institute, TTI) kutatói közösen elkezdtek az új rendszer kifejlesztését, ami az FWD és a GPR mérések

együttes feldolgozását és integrálását tűzte ki célul. Ennek eredményeként létrejött az első integrált terepi adatgyűjtő rendszert, és elkészült az adatfeldolgozó és jelentéskészítő PAVECHECK program. A következő lényeges újdonságokat tartalmazta a rendszer:

- Digitális videófelvétellel dokumentálták az útállapotot. A rendszer automatikusan szinkronizálta a videó felvételeket a GPR és FWD mérési pozíciókkal. Ez a funkció lehetővé tette a felszíni úthibák potenciális felszínalatti okainak beazonosítását.
- További új funkció volt, a magminták fotóinak és más releváns, kiértékelésnél fontos adatoknak az integrálása.
- Az eddig külön gyűjtött FWD behajlásadatok feldolgozása szintén a programba került. Mivel lehetőség volt minden szelvényértékre pontos rétegvastagságértékeket lekérdezni a GPR mérésekből, a modulus visszszámítás is tényleges rétegvastagságokkal dolgozott.
- A terepi adatgyűjtés közben rögzített GPS adatok alapján a felmért útszakaszokat térképen lehetett ábrázolni, és megnyílt a térinformatikai elemzések lehetősége is.

A COLORMAP és a MODULUS 6.0 minden kritikus adatfeldolgozó képessége és visszszámítási algoritmus megvalósítható volt a PAVECHECK programban is. (Scullion, Chen and Lau, 1995).

A PAVECHECK program a kísérleti útszakaszok eredményei alapján igazolta, hogy egy integrált mérő és adatfeldolgozó rendszer nagymértékben tudja segíteni az állapotértékelő mérnökök munkáját, főleg a homogén útszakaszok pontos lehatárolásával.



### 3.2. Road Doctor

A Road Doctor diagnosztikai rendszer vonalas létesítmények állapotfelmérésére és értékelésére kifejlesztett modern roncsolásmentes mérőrendszer és szoftvercsomag egyben. A diagnosztikai rendszer kulcsát a szenzorokkal felszerelt állapotfelmérő mérőautó adja, amely roncsolásmentes mérőeszközökkel gyűjt információt az útpályaszerkezetről és környezetéről. A mérés normális közlekedési sebességgel (jellemzően 50-100 km/h), a forgalom megzavarása nélkül történik. A gyűjtött adatok tájékoztatást adnak a pályaszerkezet szerkezeti tulajdonságairól, mint rétegvastagság, nedvességtartalom, valamint a közműszerelvények helyzete; az úthibákról, mint repedések, kipergések, kátyúk és felgyűrődések; illetve az út környezetének állapotáról, mint árkok, forgalmi jelzések, útsatlakozások és a növényzet. A rendszer további előnye, hogy az állapot szakemberek általi kiértékelése történhet a helyszínen vagy utólagosan is, hiszen az mérést videófelvétellel és GPS adatokkal látják el, amivel a helyszín és a mérési szelvények könnyedén beazonosíthatók.

#### 3.2.1. Állapotfelmérő mérőautó

A Road Doctor állapotfelmérő mérőautó egy komplett rendszert kínál az útállapot-adatok gyűjtésére, felmérésére és elemzésére. A rendszer csak roncsolásmentes vizsgálati módszereket alkalmaz és célja a proaktív fenntartási gyakorlat elősegítése. A Road Doctor mérőjármű a szenzorokkal együtt megrendelhető (6. ábra), de igény esetén a mérőrendszer saját járművekre is felszerelhető. Az állapotfelmérő kisteherautó videokamerákkal, hőkamerával, geológiai radarral, lézerszkennelrel, illetve távolság- és gyorsulásmérő eszközökkel is el van látva. Emellett a méréseket esetenként dinamikus behajlásmeréssel (FWD) is kiegészítik.

A videófelvételek a GPS adatokkal együtt minden mérési pontnál mentésre kerülnek, ezáltal a mérések egyszerűen visszanezélhetők, megismételhetők és összehason-

líthatók, a mérés helye pedig egyszerűen beazonosítható. A hőkamerákkal a víz jelenléte mutatható ki a pályaszerkezetben. Az új nagy pontosságú hőkamerák képesek mérni a felületi hőmérséklet kismértékű változásait, mozgó jármű esetén már akár 0,05°C-os tartományban is. A geológiai radarral vagy földradarral (GPR) információ kapható többek között a pályaszerkezetek rétegeinek vastagságáról, a szabad hézagtartalomról, a pályaszerkezeti károkról és deformációkról, az útszakasz nedvességre való hajlamáról, illetve a nem látható közműszerelvények helyzetéről. A járműre felszerelt lézerszkennel segít nem csupán az út és környezete modellezését, hanem rámutat a különböző pályaszerkezeti deformációkra, mint például nyomvályúsodás, hosszirányú felületi egyenetlenségek, széles repedések, burkolatszélhibák és a padka állapota. Emellett a mérés információt ad a szelvény keresztmetszeti eséséről, az út és padka szélességéről vagy akár az árok mélységéről.

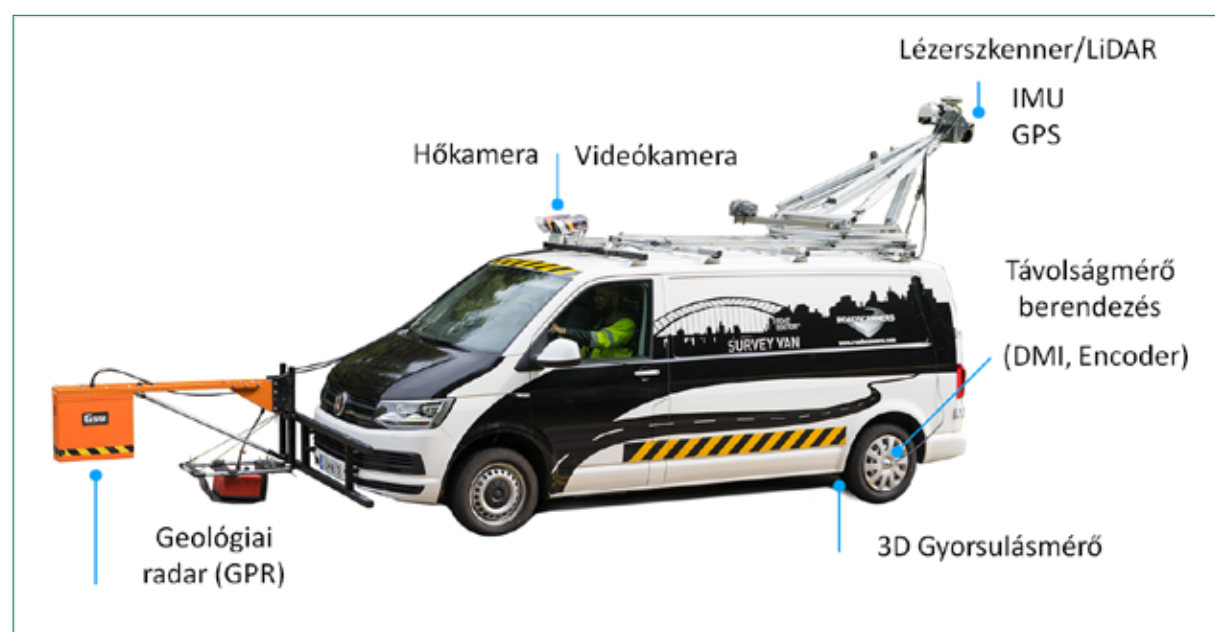
A mérőrendszer tehát a különböző méréseket egyidejűen hajtja végre és a program erőssége, hogy a különböző mérések egyidejű elemzését is lehetővé teszi a videófelvételek által kapott vizuális adatokkal összekapcsolva. Így a diagnosztikai adatok és a Road Doctor szoftverek alkalmazásával egyszerűen készíthetők statisztikák és fenntartási tervek, hiszen a feltárt hibák okai nagyobb eséllyel kerülnek megismerésre.

#### 3.2.2. Az útszakasz szerkezeti elemzése

A Road Doctor programcsomagban a kisteherautóval begyűjtött állapotadatok megjelenítésére számos grafikus felhasználói felület közül választhatjuk ki a nekünk legmegfelelőbbet.

##### 3.2.2.1. Digitális videófelvétel és helyazonosítás

A mérőkocsira jellemzően 2-3 videokamerát szerelnek fel, a videófelvételeket pedig GPS adatokkal kapcsolják



6. ábra. Az állapotfelmérő furgon felszereltsége (<https://www.roadscanners.com>)

össze. A videófelvételek segítik az út és környezete állapotának szemrevételezését a folytonos (pl. repedések, vízvezetés) és a pont-szerű károk felismeréséhez, a GPS helymeghatározás pedig a szakaszon való beazonosítást és a mérési pontok ábrázolását teszi lehetővé.

#### 3.2.2.2. Földradar (Ground Penetrating Radar)

Jellemzően a Road Doctor állapotfelmérő furgonján GSSI (USA), 3D-Radar (Norvégia) vagy IDS (Olaszország) típusú geológiai radar rendszereket helyeznek el. A pályaszerkezet rétegvastagságát jellemzően 400 MHz - 2,5 GHz közötti frekvenciájú levegőkapcsolatos kürtantennával mérik. Ezek az antennák hatékonyan bizonyultak az aszfalt útpályaszerkezet rétegvastagságainak kimutatásában, a kopóréteg vastagságának felmérésében és az acélhálók elhelyezkedésének detektálásában is. A megfelelő antennarendszer már akár 25-30 mm vastag rétegeket is képes detektálni. A mérés elmélete azon alapul, hogy a megfelelő frekvenciák alkalmazása esetén a felületekről visszaverődő hullámok alapján következtetni lehet a közeg inhomogenitására a rétegek vastagságára és a típusára, hiszen a felületekről kapott jel erőssége a rétegek dielektromos állandójától függ, mely anyagoként jelentősen eltér.

#### 3.2.2.3. Vizuális szubjektív szemrevételezés

A Road Doctor rendszerben megjeleníthetők az útburkolat pillanatnyi minőségét dokumentáló vizuális (szubjektív) állapotadatok is. Hasonlóan a hazánkban is elterjedt ROAD MASTER rendszerhez, ahol egy felkészült útvizsgáló szakember a vizsgálandó szakaszon (autóval) végig haladva szemrevételezi az út felületét, majd szakszerűen definiált burkolathibatípus-osztályokba sorolja az azon látható anomáliákat. A szabad szemmel is látható hibák – mint repedések, kátyúk, kipergések, deformációk, burkolatszélhibák stb. – tételes felmérése és helyazonosítása segíti az útállapot utólagos kiértékelését.

#### 3.2.2.4. Dinamikus behajlás mérés (FWD)

A dinamikus FWD behajlás mérés eredményei információt adnak a földmű, a pályaszerkezet és annak rétegei állapotáról. Az ejtősúlyos behajlás mérő által adott impulzusterhelés hatására a tárcsa alatt, illetve attól adott távolságokban mérhető a behajlások. Ezáltal az FWD lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy meghatározzák a kontrollált terhelés alatti behajlási teknőt. Az FWD által kapott adatok a rétegvastagságra vonatkozó információkkal kombinálva felhasználhatók a pályaszerkezeti rétegek helyszíni modulusainak meghatározására, így a szerkezet teherbírási állapotának megállapítására is.

#### 3.2.2.5. Hossz-irányú egyenetlenség

A földradar kürtantennájának magassági helyzete (antenna elevation) a mérő kisteherautó mozgása közben kismértékben, de folyamatosan változik, az útburkolat állapotától függően, így a mérés közbeni „bólogatásából” következtetni lehet az útpálya hosszirányú hullámosságára. Ezért az így kapott adatok felhasználhatók az út egyenetlenségének jellemzésére, illetve nyomvályúk és egyéb deformációk detektálására. Emellett még a kisteherautó tengelyeire modern 3D-gyorsulásmérők is fel vannak sze-

relve, amikkel a rezgéseket X, Y és Z irányokban lehetséges érzékelni, amiből aztán a vezetési kényelem közvetlenül minősíthető. A helymeghatározás GPS-el történik, a gyorsulásmérők eredményei pedig nemzetközi érdességi indexre (IRI) konvertálhatók.

#### 3.2.2.6. Aszfalt dielektromos állandó változás

Az aszfalt tipikusan 4-8 közötti dielektromos állandóval rendelkezik. A pontos értéket befolyásolja a keverék összetétele és öregedése. A mért aszfalt dielektromos állandó szintén nagy mértékben befolyásolja a víz jelenléte, illetve a felület repedezettsége. A változás mértékéből az aszfaltburkolat mikrorepedezettségének mértékére lehet következtetni.

#### 3.2.3. A szerkezetben jelenlévő víz elemzése

A dielektromos diszperzió jól felhasználható a vízre érzékeny utépítési anyagok rendellenesen magas nedvesség tartalmú területeinek felkutatására. A dielektromos diszperzió azt jelenti, hogy a dielektromos állandó értéke alacsony frekvencián nagyobb, mint magasabb frekvencián. A GPR rendszerek diszkrét energia-impulzusokat használnak, amelyek központi frekvenciája 10 MHz és 2,5 GHz között változik. Mivel az aszfalt tipikusan 4-8 közötti dielektromos állandóval rendelkezik, míg a víz jelentősen magasabb, 80 körüli értékű, a módszerrel a nedvesség jelenléte jól kimutatható.

Az eredmények utólagos kiértékelésekor a szakértők egyszerűen össze tudják vetni a mérés kimagasló értékeinek helyzetét a videófelvételen rögzített útállapottal. Ez a vizuális szemrevételezés sokszor a problémák okának feltárásában is segítséget nyújt.

##### 3.2.3.1. Moisture Damage Index (MDI)

A nedvességkárosodási (Moisture Damage Index, MDI) index a földradar mérési eredményeiből számítható mértékegység nélküli relatív érték. A gyakorlat azt mutatja, hogy ehhez a 400MHz frekvencián végzett vizsgálatok a legideálisabbak. Az MDI az anyag nedvességtartalmát és nedvességérzékenységét írja le bizonyos mélységek között. A mért rétegek tipikusan a felső 230 mm (top), a 230 – 450 mm (közép) és a 450 – 700 mm közötti (alsó) mélységek. A teljes pályaszerkezet MDI értékét a rétegek értékének súlyozott átlaga alapján lehet kiszámítani. Az alkalmazott képlet jellemzően nagyobb súlyt (50%) helyez a felső réteg nedvességkárosodási értékére, mivel úgy ítélik meg, hogy a magas víztartalom itt a legkritikusabb. A kapott értékek 10 (nagyon száraz, zöld) és 120 (telített, piros) között mozognak. Az MDI érték rétegenkénti ismerete projekt szinten alkalmas a nedvesség helyének és a legjobb kezelési mód detektálására, míg a teljes szerkezet MDI értékének hálózati szinten lehet jelentősége, a legnedvesebb útszakaszok feltérképezéséhez.

##### 3.2.3.2. Nyomvályútérkép

A nyomvályútérkép elkészítéséhez a lézerszkennel mérési adatait használják fel. Mérés közben az állapotfelmérő kisteherautó jellemzően 50 m széles keresztmetszeti profilt készít – a jármű sebességétől függően – minden 0,05-0,1 méter megtétele után. A pontfelhő adatai megmutatják a burkolaton érzékelhető deformációkat, melyet a jobb szem-



léletés érdekében színekkel ábrázolnak (a zöld = 0 mm, piros és fekete > 26 mm-es nyomvályómélységet jelöl). A kritikus értékek helyét a szakértők gyakran az MDI nedvességi értékekkel is összevetik. Azok a területek tekintendők a legrosszabb állapotúnak – ezáltal legsürgősebb fenntartási beavatkozást igényelnek – ahol a deformáció mellett magas MDI érték is mérhető volt.

### 3.3. Pavecheck és Road Doctor összehasonlítása

A 3. táblázatból megfigyelhető, hogy mind a PaveCheck, mind pedig a Road Doctor szoftvercsomag olyan vizsgálati módszer, ami lehetővé teszi a különböző roncsolásmentes vizsgálatok egyszerre történő felmérését és eredményeinek egy rendszeren belüli elemzését. Azonban míg a

PaveCheck GPS-szel összekapcsolt digitális videó rendszerrel, FWD vizsgálatot és földradar elemzést alkalmazott, a Road Doctor kibővítette ezt a járműre felszerelt lézerszkennelvel, hőkamerával és gyorsulásmérővel. Ezáltal teljesebb kép kapható a felmért útszakasz állapotáról. Lényeges különbség a két módszer között a pályaszerkezet nedvességtartalmának detektálása, amelyre a PaveCheck rendszerénél csak a GPR radar kimagasló értékeiből lehetett következtetni, míg a Road Doctor a hőkamerák képe által, a lézerszkennelrel kapott egyenetlenségi és deformációs adatok alapján és az MDI index eredményéből egy pontosabb képet ad a kritikus szakaszokról. Ezáltal megfogalmazható, hogy a PaveCheck egy jó kezdeményezésnek bizonyult, de a Road Doctor nagyobb mélységű elemzésre és szerkezeti feltárára ad lehetőséget.

Szempont	PaveCheck	Road Doctor
Adatgyűjtés	GPR, Digitális Videókamera, GPS felmérés az állapotfelmérő furgon által, kezdetleges DMI távolságmérés a GPR adatok megjelenítésének szelvényezésére, az FWD külön mérésenként van kezelve.	GPR, Digitális Videókamera, GPS, Hőkamera, Lézerszkennel, Távolságmérő és Gyorsulásmérő az állapotfelmérő furgon által, az FWD mérés külön van kezelve.
Adatfeldolgozás	Képi adatok digitális tárolása, a GPR és képi adatok szinkronizált összegyűjtése és feldolgozása, a GPR fémtárcsa adat is megalkotása (.dat), majd a kettő végeredmény megjelenítése egy tömörített képfájlban (.img) Az FWD adatok, 4 különböző terhelési szinthez tartozó behajlási görbén keresztül történő bemutatása, a 0 szelvénytől, 9000 Font középkerheléssel Kiértékelés, analitikai összefoglaló jelentés formátumban, ahol a gyűjtött és számított adatok az egyes behajlási technók attribútumaiként jelennek meg	Általános eljárás szerinti hosszúságok szerkesztése, fájlok megfordítása, hogy mindkét sáv azonos irányban jelenjen meg A levegővel kapcsolt adatokat előzetesen feldolgozása a magasság korrekció és a felületi reflexió kiszámításához Értelmezés céljából az adatok vertikális és horizontális szűrése Lézerszkennel általános eljárás szerinti feldolgozása, hogy pontfelhőből nyomvályú-térképet hozzanak létre
Lézerszkennel	-	Az út és környezete modellezésére, az alakváltozások nyomonkövetésére szolgál Jellemzően 50 m széles keresztmetszeti profil készítése 5-10 cm-enként, mely pontfelhő adataiból a károk detektálhatók Vizsgált károk: nyomvályú, felületi egyenetlenség, széles repedés, burkolatszélhibák, padka szélesség, árok mélység.
Hőkamera	-	Segítségével a víz jelenléte mutatható ki a pályaszerkezetben Elméleti háttere, hogy a magasabb nedvességtartalmú területek lassabban hűlnek, mint a száraz részek. Az eredmények hőterképen való ábrázolása a Road Doctor szoftver által. Az eredményt a környezeti körülmények nagyban befolyásolják.
Moisture Damage Index	-	A telítettségi szint és az anyag nedvességre való rétegenkénti érzékenységének mértékegység nélküli relatív mértéke, mely a földradar mérési eredményeiből számítható A mért rétegek tipikusan a felső 230 mm (top), a 230 – 450 mm (közép) és a 450 – 700 mm közötti (alsó) mélységek. A teljes pályaszerkezet MDI értékét a rétegek értékének súlyozott átlaga alapján lehet kiszámítani A kapott értékek 10 (nagyon száraz) és 120 (telített) között mozognak

Nedvességtartalom elemzése	GPR mérési eredmények kimagasló értékeiből az alapréteg szokatlanul magas nedvességtartalma kiolvasható	Integrált nedvességdiagnosztika az utak nedvességgel és vízelvezetéssel kapcsolatos problémáiról Vizsgálandó mérések: Földradarral történő nedvességbecslés, MDI, Nyomvályúterkép, Hosszirányú felületi egyenetlenség, Dielektromos szórás, Statisztikai elemzés a nyomvályú-mélységek és az MDI közötti eloszlásról
Földradar	A pályaszerkezeti vastagságok feltárása alkalmazható A magmintavétel és az FWD által kapott lokális értékek az eredmények ellenőrzésére szolgál Korlátozottan használható a felszín alatti üregek és nedvességtartalom kimutatására	A pályaszerkezeti vastagságok feltárása, pályaszerkezet nedvességtartalmának becslésére, MDI érték megállapítására alkalmazható, jellemzően 400MHz és 2 GHz frekvencián, levegőkapcsolatos és földkapcsolatos kürt antenna rendszerként A magmintavétel és az FWD által kapott lokális értékek az eredmények ellenőrzésére szolgál

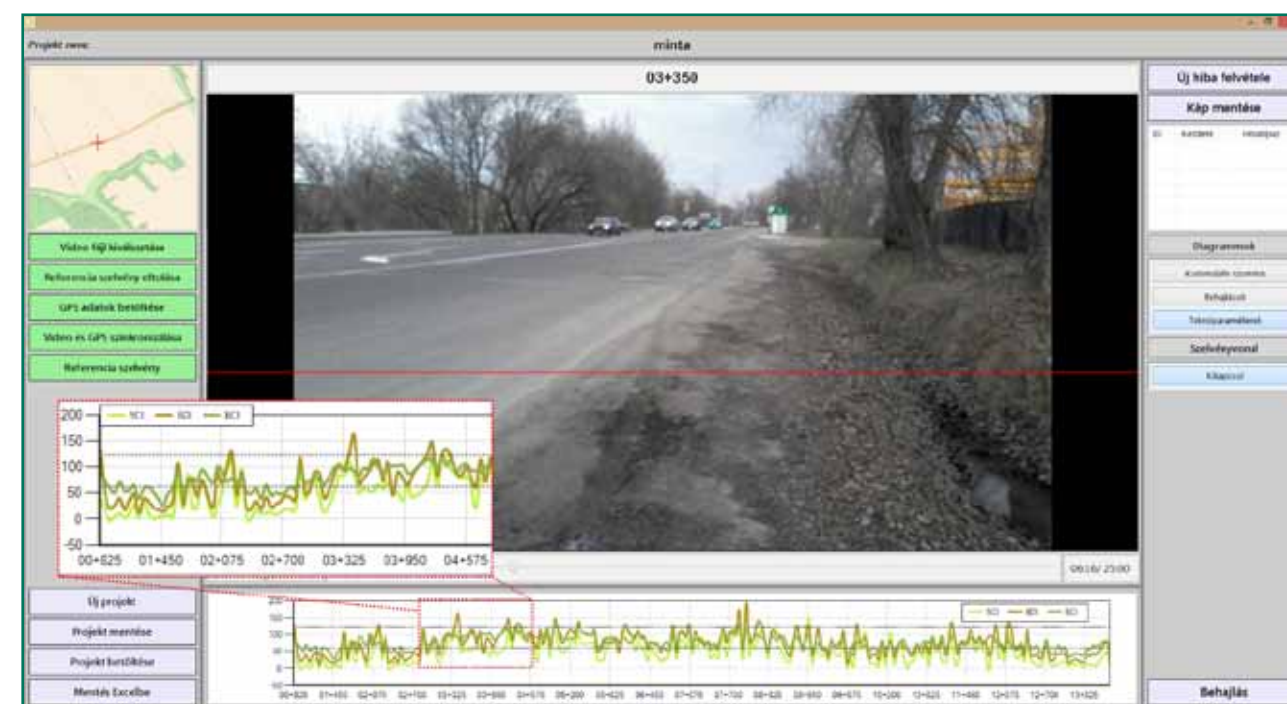
3. táblázat. PaveCheck és Road Doctor összehasonlítása

### 3.4. Hazai útdiagnosztikai fejlesztések

Az olyan fejlett technológiák, mint a georadar, lézerszkennelés vagy hőkamera sok esetben – legalábbis átlagos létesítmények esetében – nem állnak rendelkezésre, így ezek esetében elsősorban a behajlásmérésre és a vizuális állapotfelvételre támaszkodunk. Ehhez elengedhetetlenül fontos a pálya diagnosztikája, amelynek orozslánrésze egy alapos helyszíni bejárásal elvégezhe-

tő. Fontos emellett a rendelkezésre álló mérési és vizuális adatok közötti megfelelő kapcsolat, amely alapján a feltett hibák okai nagyobb eséllyel fedezhetők fel.

A 7. ábra példaként egy látszólag jó burkolatállapotú útszakasz FWD behajlásméréséből számított BCI-értéket mutatja, a behajlásmérés idejében történt videofelvétellel szinkronizálva, egy fejlesztés alatt álló hazai diagnosztikai szoftvert használva (Soós et al, 2007).



7. ábra. Pangó víz a csapadékvíz-elvezető rendszerben, átázott földű diagnosztizálása (Soós et al, 2007)



Jól láthatóan a földmű állapotára jellemző BCI-index 130 körül alakul a szakaszon, ami az átázott földmű kisebb teherbírását mutatja, ami viszont egyértelműen csak a behajlásméréskor tartott bejárás, illetve videofelvétel alapján állapítható meg. A behajlásmérés alapján méretezett megerősítés ezen a szakaszon tehát nem oldja meg a problémát önmagában.

A szerkezet váltása számottevően befolyásolja a mért behajlásokat. Habár a jelenlegi előírás alapján a teherbírás szempontjából a 0,5 alatti variációs koefficienssel jellemezhető szakaszok homogénnek tekinthetők, a gyakorlat számos alkalommal igazolta a homogén szakaszolás fontosságát megfelelő varianciaérték esetén is.

További nehézség még, hogy a dinamikus-statiszti- kus behajlásértékek közötti átszámításkor alkalmazott hő- mérsékleti és évszaki korrekciók helyessége nem igazolt. Emellett itt fontos megemlíteni azt is, hogy mivel a ha- zai gyakorlatban sajnálatos módon csak a tárcsaközép behajlásértékének használata terjedt el; korábbi – korrek- ciókat, átszámítást célzó – kutatások is csak erre irányul- tak, a behajlási teknő többi adatának feldolgozására így ma nincs hazai előírás. Nem egyértelmű emellett az sem, hogy az FWD-adatok a közutakon a hetvenes évek óta gyűjtött behajlásadatokkal mennyire vethetők össze a jelenleg al- kalmazott átszámító képlet alkalmazásával, nem beszélve az újabban alkalmazott Curviameteres adatokról.

Az említett problémákra nyújthat egyfajta megoldást egy jelenleg is folyó hazai fejlesztés, ami interaktív webes alkalmazáson keresztül teszi lehetővé a KUAB mérések ki- értékelését. (Markó, 2020) Az alkalmazott diagnosztikai és méretezési eljárás az elmúlt évtized hazai pályaszerkezet- tervezési kutatási eredményein alapul. A szoftver grafikus felületén a teherbírás adatok mellett egyéb, a pályaszerke- zet állapotával kapcsolatban rendelkezésre álló mérések is megjeleníthetők. Ilyen adatok lehetnek például a georadar (GPR) mérések eredményei, a pályaszerkezet felületén je- lentkező hibák kiterjedése (repedés, kátyú), a vízelvezető árkok, kiemelt szegélyek állapota, ívviszonyok. Egy ilyen „technológiai hossz-szelvény” rendszerezetten jeleníti meg a felújításra tervezett út állapotára jellemző adatokat.

#### 4. Összefoglalás

A fentiekben ismertetett, nemzetközi szinten elterjedt és alkalmazott roncsolásmentes diagnosztikai eljárások rövid és szubjektív áttekintésére vállalkoztunk, abban a reményben, hogy felhívjuk a szakemberek figyelmét ezen eszközökben/ eljárásokban rejlő lehetőségekre ille- tve rámutassunk az állapotfelvétel területén tapasztalható elmaradásainkra. A burkolatmegerősítéssel, tágabb ér- telemben útfelújítás tervezéssel foglalkozó kollégák előtt ismert a hazai szabályozás elavultsága, átdolgozásának évtizedes szükségessége. Látható, hogy a felújításra szoruló autópályáink technológiai „újratervezése” nem kezelhető az 50 éves Benkelman gerendával mért behajlási adatok alapján történő ráépítéssel. Az utolsó érdemi eredmény, amit a szakmai az elmúlt időszakban fel tudod mutatni, az vonatkozó UME 2006-ban kiadott pótlapja, amely egy- részt – tudományos alapossággal alátámasztva – megad- ta a dinamikus tárcsaközép-süllyedések statikus értékre történő átszámíthatóságát, másrészt Boromisza Tibor

előrelátó bölcsességének köszönhetően megteremtett – a behajlásalapú illetve az összehasonlító módszer mellett – egy harmadik lehetőséget a felújítástechnológia terve- zésére: „a megerősítés tervezhető és a homogén szakasz képezhető a dinamikus behajlásokon alapuló méretezési szoftverekkel kapott eredmények alapján is”, amely lehe- tőséggel mindeztidáig szakmánk nem tudott élni, noha igény számos esetben lett volna rá (lásd bármelyik jelen- tős maradó aszfaltvastagsággal és nagy forgalommal ter- helt útszakasz felújítástechnológiai tervezése). Az utókor számára érdemes kiemelni, hogy az „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” című UME 2005-os normaszövege hátrányosan érintette ugyan az FWD berendezések alkalmazhatóságát, azonban az akkori adminisztráció – a szabályozást nem megkerülve vagy negligálva – tiszteletre méltó jogkövető magatartást tanúsítva, előkészített, lebonyolított egy olyan összemérés sorozatot, amivel megteremtette az átszámíthatóság alap- ját és ennek nyomán került kiadásra 2006. április 05-én kiadott 1. sz. pótlap.

Az ÁKMI/UKIG/KKK megszűnésével az átfogó kutá- tások támogatása megszűnt, a szakmai igény a „kísérleti útépitések” -re korlátozódik, olyan fontos szakmai szerve- zetek, mint pl. a MAUT Kutatási és Innovációs Bizottsága, amelynek stratégiai kérdésekben, K+F víziók megfogal- mazásában élen kellene járni, nemcsak hogy nem hallatja hangját, de tevékenysége évtizede láthatatlan. A szakma felélte a 70-es, 80-as években lerakott tudományos alapo- kat, ma már nem elég a 90-es években kiadott UME-kat új címlappal kiadni. Világosan lefektetett koncepció mentén el kellene kezdeni az elmúlt 20 évben felhalmozott lemara- dásunkat ledolgozni, hogy egy valóban korszerű, gazdasá- gos és fenntartható komplex útfelújítási rendszer elméletét és gyakorlatát megteremtjük.

Ezen új elvek megjelenítésére, jó kiindulás lehet „A közutak építésének szabályairól” szóló miniszteri ren- delet (ún. KÉSZ) vélt és várt mielőbbi bevezetése, és elvi iránymutatásként így irányt szabni a vonatkozó UME-k átdolgozásának. Ennek természetesen előfeltétele, hogy fogalmilag tiszta normaszöveg álljon elő és az olyan fogal- mak, amelyek nem erősítik, hanem felpuhítják a szabályo- zásunk belső kohézióját (pl. a „méretezett megerősítés” fo- galma, ami feltételezi a „nem méretezett megerősítés” létét, ami hogyan tekinthető erősítésnek, ha nem méretezzük?) kikerüljenek belőle. A következő lépés a vonatkozó, de kü- lönböző időszakokban készült eltérő szakmai színvonalú és aktualitású UME-k kidolgozása és egységes szerkezetbe történő kiadása. A nemzetközi gyakorlat szerint az útfel- újítás technológiai tervezésével kapcsolatos szabályozás ritkán „úszható meg” 200 oldal alatt, de a nagy méretért cserébe a tervező egy helyen és könnyen áttekinthetően jut minden érdemi információhoz a felületi bevonatoktól a helyszíni melegremixig, a betonburkolat felújításától az állapotfelvételig. Egy ilyen ún. felújítási kézikönyv kidol- gozása persze hatalmas munka, hiszen számos bizottság évtizedek alatt összerakott rész-szabályozásait kellene ak- tualizálni és összezsírozni egy átfogó művé, azonban ez a nemzetközi tapasztalatok fényében nem megspórolható.

#### 5. Köszönetnyilvánítás

A cikk a RODEN Mérnöki Iroda Kft. támogatásával készült.

#### 6. Irodalomjegyzék

- AL-Qadi, Imad L., Zhen Leng, és AL Larkin. 2011. „In-Place Hot-Mix Asphalt Density Estimation Using Ground-Penetrating Radar”. Final Report 11–096. Urbana, Illinois: Department of Civil and Environmental Engineering.
- Baksay, János. 1976. „Útpályaszerkezetek behajlásmérése automatikus mérőkocsival”. Mélyépítéstudományi Szemle XXVI (12): 529–36.
- Bay, James A., és Kenneth H. Stokoe. 1998. „Development of a Rolling Dynamic Deflectometer for Continuous Deflection Testing of Pavements”. Project Summary Report FHWA/TX-99/1422-3F. Austin, TX: University of Texas at Austin. Center for Transportation Research.
- Boromisza, Tibor. 1959. „Útburkolatok behajlása”. Mélyépítéstudományi Szemle IX (12): 564–71.
- . 1993. „Útpályaszerkezetek dinamikus teherbírásmérésének bevezetése”. Közlekedéscépi- és Mélyépítéstudományi Szemle XLIII (9): 327–37.
- . 1997a. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének gyakorlata: Méretezési Praktikum. Közúti Közlekedési Füzetek 16. Budapest: Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium.
- . 1997b. „Útpályaszerkezetek teherbírásmérése és az értékelés jelenlegi hazai gyakorlata”. Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle XLVII (3): 142–44.
- Chang, George, Qinwu Xu, Jennifer Rutledge, Bob Horan, Larry Michael, David White, és Pavana Vennapusa. 2011. „Accelerated implementation of intelligent compaction technology for embankment subgrade soils, aggregate base, and asphalt pavement materials”. Final Report FHWA-IF-12-002. Austin TX: The Transtec Group, Inc. [http://www.intelligentcompaction.com/downloads/Reports/FHWA-TPF\\_IC\\_Final\\_Report.pdf](http://www.intelligentcompaction.com/downloads/Reports/FHWA-TPF_IC_Final_Report.pdf).
- Huang, Yang H. 2004. Pavement Analysis and Design. 2. kiad. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.
- Jiang, Z. Y., J. Ponniah, G. Cascante, és P. E. Charlottetown. 2006. „Improved Ultrasonic Pulse Velocity Technique for Bituminous Material Characterization”. In Annual Conference & Exhibition of the Transportation Association of Canada. Charlottetown, Prince Edward Island, Canada.
- Karoliny, Márton. 2015. „HASTA LA VISTA CURVIAMETRO!” Útügyi Lapok (blog). 2015. 0 2. <https://utugyilapok.hu/2015/09/hasta-la-vista-curviometro/>.
- Kosztka, Miklós. 2009. Erdészeti útépités - Erdészeti utak építése. Budapest: Országos Erdészeti Egyesület (OEE).
- Kosztka, Miklós, Gergely Markó, József Péterfalvi, Péter Primusz, és Csaba Tóth. 2008. „Erdészeti utak teherbírásának mérése”. In A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás előadásainak és konzultációs témáinak összefoglalói, szerkesztette László Tóth és László Magó, 3:75–79. Gödöllő: SZIE.
- Liu, Wenting, és Tom Scullion. 2006. „PAVECHECK: Integrating Deflection and Ground Penetrating Radar Data for Pavement Evaluation”. Technical Report FHWA/TX-06/0-4495-1. Austin, Texas: Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.
- Loulizi, Amara. 2001. „Development of Ground Penetrating Radar Signal Modeling and Implementation for Transportation Infrastructure”. PhD Thesis, Blacksburg, Virginia: Virginia Tech. <http://hdl.handle.net/10919/26133>.
- Makrai, Zoltán. 2010. „Aszfalt útburkolatok egyenletessége”. gepnet.hu. 2010. [http://gepnet.hu/hirek/Szakcikkek/aszfalt\\_utburkolatok\\_egyenletessége\\_i\\_az\\_egyenletesseg\\_fogalma\\_meresenek\\_eszkozoi-239.html](http://gepnet.hu/hirek/Szakcikkek/aszfalt_utburkolatok_egyenletessége_i_az_egyenletesseg_fogalma_meresenek_eszkozoi-239.html).
- Malhotra, V. M., és Nicholas J. Carino. 2003. CRC Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. CRC Press.
- Markó, Gergely, Péter Primusz, és József Péterfalvi. 2012. „Erdészeti utak teherbírásának mérése a továbbfejlesztett kézi behajlásmérővel”. Erdészettudományi Közlemények 2 (1): 107–21.
- . 2013. „A Benkelman-tartó továbbfejlesztése a behajlási teknő automatizált rögzítéséhez”. Útügyi Lapok 1 (1): 109.
- Markó Gergely: FWD mérések kiértékelését támogató szoftver fejlesztése. Az aszfalt. 2020
- Pattantyús-Á., Miklós, Borislav Neduca, Zsolt Prónay, és Endre Törös. 1994. „A földradar módszerfejlesztés másfél éves tapasztalatai az ELGI-ben”. Magyar geofizika 35 (1): 32–41.
- Pellinen, Terhi K., és Matthew W. Witczak. 2002. „Use of Stiffness of Hot-Mix Asphalt as a Simple Performance Test”. Transportation Research Record 1789 (1): 80–90. <https://doi.org/10/dkxfxg>.
- Pethő, László - Tóth Csaba, 2010. „Beépített aszfaltrétegek vastagságának roncsolásmentes meghatározása”. Közlekedéscépi szemle 60 (8): 15–19.
- Plati, C., és A. Loizos. 2012. „Using Ground-Penetrating Radar for Assessing the Structural Needs of Asphalt Pavements”. Nondestructive Testing and Evaluation 27 (3): 273–84. <https://doi.org/10/ghdks3>.
- Rabaiotti, Carlo. 2008. „Inverse Analysis in Road Geotechnics”. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005774018>.
- Shahin, M. Y. 2005. Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Second. Springer Science+Business Media, New York.
- Soós Zoltán, Igazválglyi Zsuzsanna, Szakály Ferenc: Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének diagnosztikai kérdései. Útügyi lapok. 5. évfolyam, 9. szám
- Van, Thomas. 2008. „Rolling Wheel Deflectometer: A High-Speed Deflection Device to Improve Asset Management”. FHWA-HRT-08-013. Federal Highway Administration.



## Visszanyert aszfalt keverőtelepi újrahaznosítása hideg eljárással

A cikk tartalmilag a „2021. Március 25. Napi MAÚT Innovációs Fórum – Visszanyert anyagok újrafelhasználása” című rendezvényen hangzott el.

**Somogyvári László**



okleveles építőmérnök,  
ügyvezető  
KOMI Mérnökiroda Kft

### Bevezető

Sosem volt ennyire aktuális a kérdés, és még így sem biztos, hogy sokan tisztában vannak azzal, hogy tekintélyes mennyiségben keletkezik értékes másodlagos anyag aszfaltburkolatok marásával. Ennek újrahaznosításához kiforrott technológiák állnak rendelkezésre, csak kevésé alkalmazzuk ma hazánkban.

### Áttekintés

Mielőtt rátérnék a keverőtelepi hideg újrahaznosítás technológia adta lehetőségekre, vázolnám a jelenlegi hazai helyzetet. A kérdés azért is fontos, mert a rendelkezésünkre álló jó minőségű hazai kővagyon véges, a közeljövőben megvalósuló gyorsforgalmi úthálózat rekonstrukciója kapcsán jelentős mennyiségű visszanyert anyag keletkezik, és ezt kis arányban lehet meleg aszfaltkeverékben felhasználni, valamint ezzel egy időben a mellékúthálózat pályaszerkezete rekonstrukcióra szorul.

Ezek alapján olyan útépitési technológiai igények me-

rülnek fel, amelyek nagy mennyiségű visszanyert aszfalt felhasználást tesznek lehetővé, és ezek egyúttal környezetkímélő technológiák is, azaz egyaránt csökkentik az energiefelhasználást és az üvegházhatású gáz kibocsátást.

### Magyarországi aszfalt újrafelhasználás jelenlegi helyzete

Egy 2020-ban készült tanulmány szerint (1. ábra), akkor 3 évet visszatekintve, 2017-ben mintegy 65.000 tonna visszanyert anyag került értékesítésre. Ez a következő évben, 2018-ban ez a mennyiség már a duplájára emelkedett, és a felhasznált mennyiség meghaladta az előző évi értékesített mennyiséget.

A 2019-ben az értékesített mennyiség ismét majdnem a duplájára emelkedett, így már kicsivel több, mint 200.000 tonna mart anyag került értékesítésre, a felhasznált mennyiség némileg csökkent, és raktáron szintén 213.000 tonnát meghaladó mennyiség volt, ez összesen közel 480.000 tonna (1. ábra (forrás: Műszaki tanulmány, 2020))

A 2. ábrán láthatjuk a Magyar Közút 2019-es évre vonatkozó adatait. Százalékban kifejezve a teljes 213.000 tonna mennyiségre vetítve itatásos hengerlésből 3%, I. osztályú bontott aszfaltból 0,1%, I. osztályú mart aszfaltból 53%, helyszínen értékesített I. osztályú mart anyagból közel 3%, II. osztályú bontott aszfaltból közel 8%, II. osztályú mart aszfaltból pedig több, mint 33% keletkezett.

Fontos megjegyezni, hogy az I. osztályú mart aszfalt komoly értékkel bír, számtalan aszfalt-

típusba visszaadagolható lehetne, de a hazai szabályozás ezt korlátozottan teszi lehetővé. Ez az egyik a kapcsolódó megoldandó feladatok közül, a nagyobb arányú újra felhasználásnak technológiai akadálya nincs. Szintén nem elhanyagolható szempont, hogy a mart anyag tárolása egy kritikus fázis az anyag életciklusában. Nem megfelelő körülmények közötti tárolás esetén az anyag minőségi romlásnak indul, csak alacsonyabb kategóriában hasznosítható újra.

Röviden, címszavakban tekintsük át, hogyan lesz a mart/bontott anyagból termék. Megtörténik a marás, vagy bontás, majd osztályozást követően minősítési folyamat során teljesítmény nyilatkozatot kap az anyag. Ez szintén fontos fázisa az újra használatnak.

### Mellékúthálózat áttekintése

Az országos közúthálózat hossza 2020-ban több, mint 22.000 km volt (3. ábra), illetve a 4. ábrán látható az önkormányzati mellékúthálózat hossza, ami 2019-ben több, mint 173.000 km volt.

3. ábra (forrás: Magyar Közút)

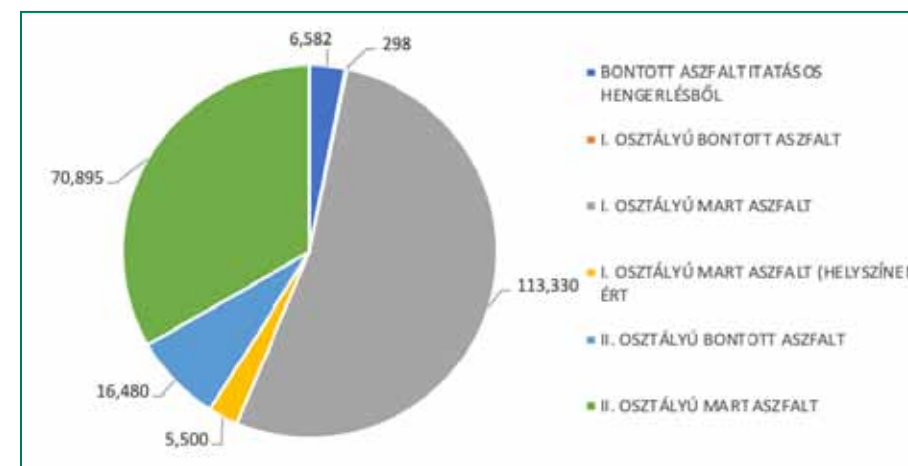
4. ábra (forrás: Magyar Közút)

Ezeknek az utaknak az állapota 2019-es adatok szerint kétharmad arányban a rossz- és nem megfelelő kategóriába volt sorolható, a 40 évnél idősebb kopórétegek életkora meghaladja a 40%-ot, sőt, ha 30 évnél magasabb korú burkolatok arányát nézzük, akkor megközelíti a 60%-ot!

A helyzet áttekintését követően biztosan sokakban felmerül a kérdés, hogy akkor hogyan tovább?

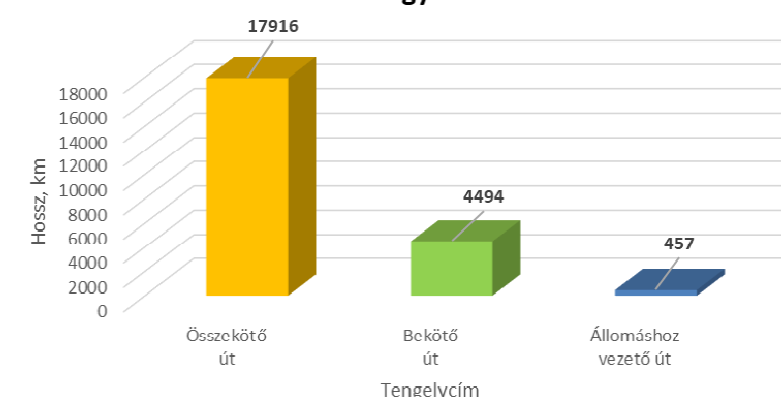
2019-es adatok alapján, 2018. és 2020. között TOP-os forrásból mintegy 55 milliárd forintot, komplex útfelújításra 122 milliárd forintot, magyar falu programra 2019-ben összesen 50 milliárd forintot szánt az állam. Ezen felül 2024-ig 3200 milliárd forintból valósulna meg az úthálózat bővítése!

Ha 30 éves felújítási ciklusokban gondolkozunk a közelítőleg 22 600 km úthálózaton a 60%-ot meghaladó rossz állapotú mellékúthálózati arányt vesszük figyelembe, akkor fel kellene újítani 13.436 km-t. Évente 756 km felújítására van kapacitásunk, ebben az ütemben körülbelül 18 év alatt valósulhatna meg a szükséges mennyiségű felújítás.



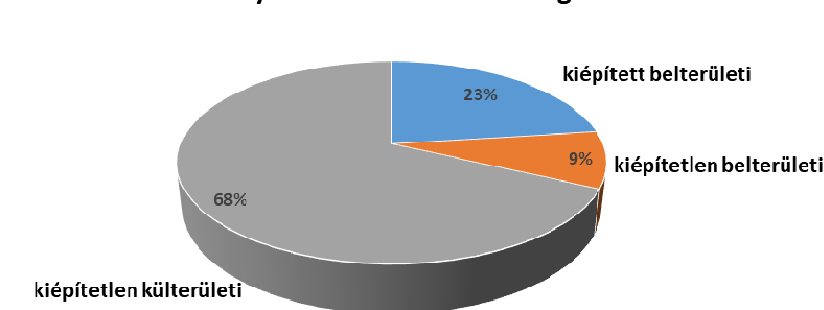
2. ábra

### Országos közúthálózat alsóbbrendű úthálózat hossza 2020. II. negyedév



3. ábra (forrás: Magyar Közút)

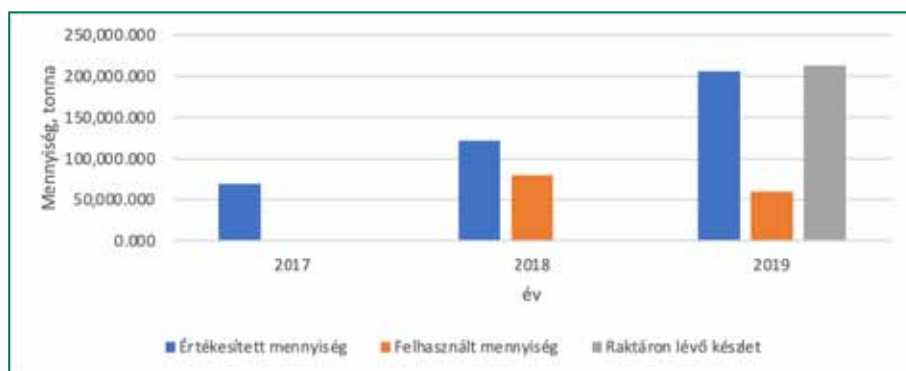
### Önkormányzati mellékúthálózat megoszlása



4. ábra (forrás: Magyar Közút)

### Kővagyon

Ha előzetesen a hazai kővagyon helyzetét is megvizsgáljuk, tényként szembesülünk azzal, hogy jelenleg Magyarországon aszfaltkeverékhez alkalmas alapanyagot 10-15 kőbánya állít elő. Átlagosan 20 millió tonna jó minőségű kővagyon termelhető ki, ez mintegy 300 millió tonna összesen. Tétélezünk fel egy átlagos 5 millió tonna/év asz-



1. ábra (forrás: Műszaki tanulmány, 2020)



faltgyártási mennyiséget, ehhez adjuk hozzá a többi képződő anyagot, így évi 10 millió tonnáról beszélünk összesen. Ebből kiszámolható, hogy a jelenlegi ásvány vagy 30 évre elegendő!

### Keletkező mennyiségek a jövőben

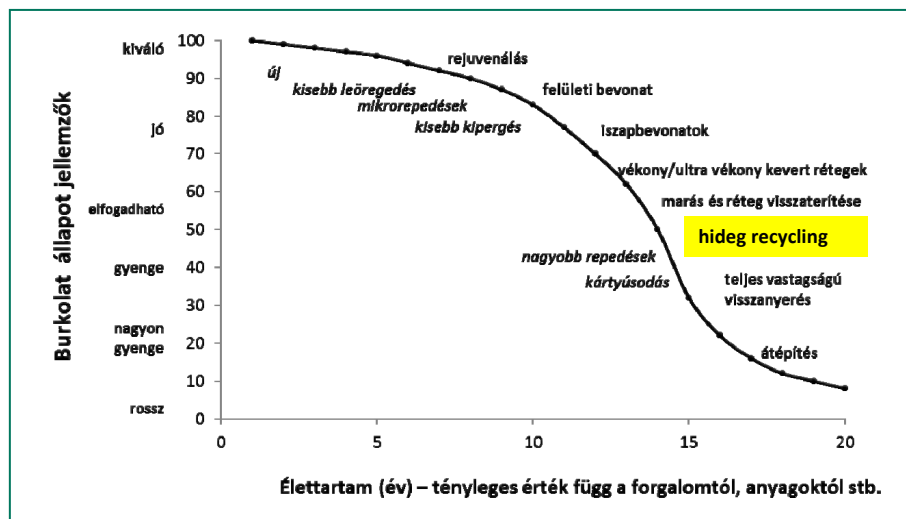
Ha megnézzük az M1 autópálya közeljövőben felújítandó szakaszait, láthatjuk, hogy Budapest-Tatabánya közötti 49 km-es szakaszon 661.000 tonna mart aszfalt keletkezik, ennek alig egyharmada használható fel! Sőt, ha tovább megyünk, egészen Győr-ig, a következő 45,5 km-en további 522.000 tonna keletkezik, ezt sokkal kisebb arányban lehet majd újra felhasználni, maximum 105.000 tonnát. Tovább emelve a tétet a kicsit távolabbi, de közeli jövőben az M3 autópályát sem kerüli el a nagyfelújítás. Itt a Gyöngyös keleti csomópontig közelítőleg 900.000 tonna visszanyert anyag keletkezik majd. Ha visszaemlékszünk a cikk elején tárgyalt 2019-es 213.000 tonnás raktári mart aszfalt mennyiségre, láthatjuk, hogy ennek a tízszerese keletkezik. Ezt arányaiban elképzelve, a Hősök terét 30 méter magasan töltené meg a mart aszfalt mennyiség, viszonyításként a Millenniumi emlékmű oszlop-csarnoka 13 méter magas.

### Technológia megoldás, keverőtelepi hideg újrahasznosítás

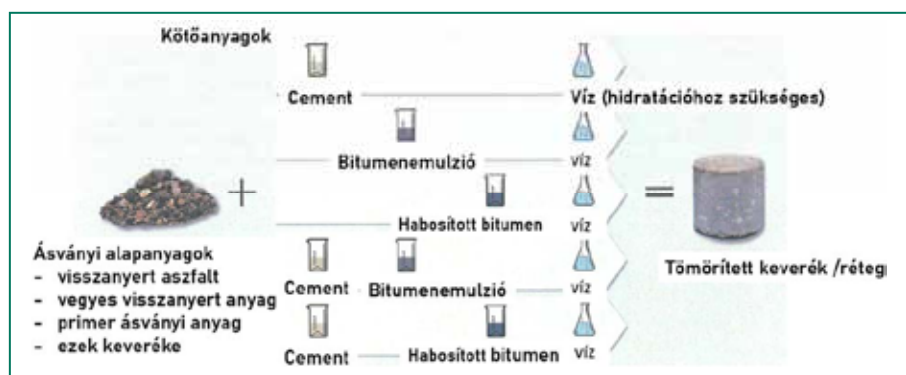
Elérkezve a cikk fő témájához, jó hír, hogy van megoldás a fent felsorolt problémákra. Egyik lehetőség a keverőtelepi hideg újrahasznosítás.

Hogy hol is lenne a helye ennek a technológiának, azt az 5. ábrán láthatjuk. Összegzi, hogy a burkolatállapot az élettartam során milyen ütemben öregszik, és az állapotromlást milyen beavatkozásokkal lehet lassítani, javítani. A gyenge-elfogadható állapotú burkolatok esetén a hideg újrahasznosítás az egyik javasolt megoldás. (5. ábra)

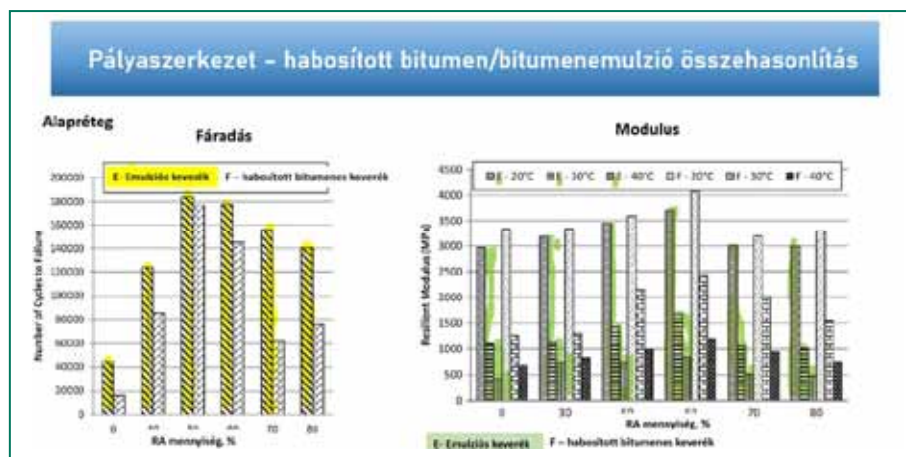
Sikerrel alkalmazható nagyforgalmú utak esetén is a technológia, FZKA burkolatalaphoz adagolva, habosított bitumennel keverve szintén burkolatalapba (RBA-H). Ezáltal a ráépülő melegaszfalt burkolati rétegek vastagsága is csökkenthető 1-2 centiméterrel. Kisebb forgalmú utakon ez akár önálló burkolatként is építhető, megfelelő víztelenítés mellett. Sőt, akár lépcsős kivitelezési módot is lehetővé tesz.



5. ábra



6. ábra

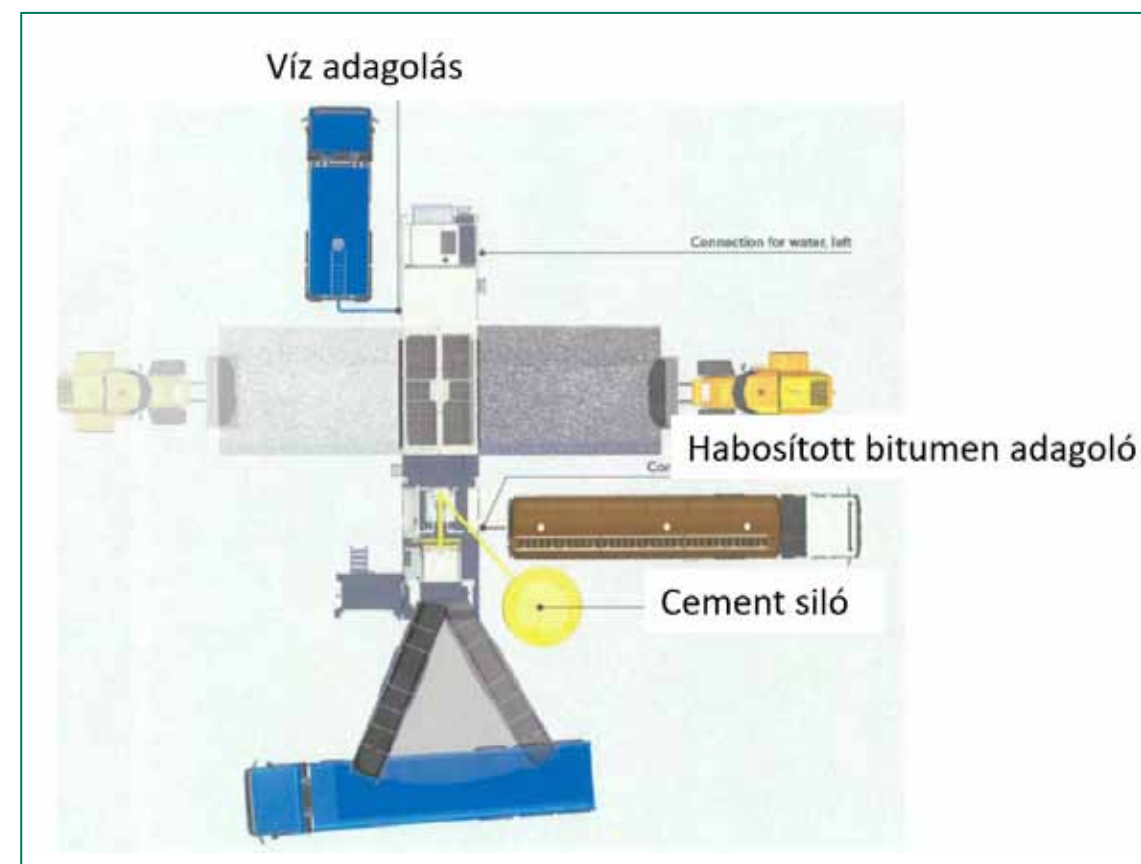


7. ábra

Alapvető keverőtelepi hideg recycling technológiákat ismertetve (6. ábra), van az ásványi alapanyagunk, ami lehet visszanyert aszfalt, és/vagy elsődleges primer ásványi anyag. Ehhez adagolunk kötőanyagot, ami lehet bitumen, víz, cement, vagy ezek valamilyen elegye: habosított bitumen, vagy bitumenemulzió. (6. ábra)

Alapréteg esetén, összehasonlítva a bitumenemulzióval vagy habosított bitumennel gyártott keverékek esetén akár 50-60%-os visszaadagolással is kiemelkedő tulajdonsággal bír a keverék, mind fáradás, mind modulus tekintetében (7. ábra).

Az előállításra elvi rajzot egy berendezésről a 8. ábrán láthatunk.



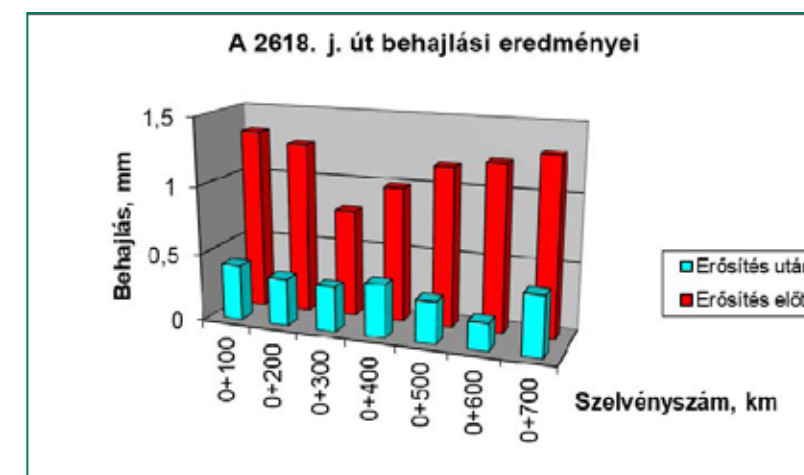
8. ábra

### Külföldi példa, magyarországi felhasználási lehetőségek

Alkalmazható régi pályaszerkezeti rétegek felújítására, szerkezeti károsodásának javítására. Fáradási problémák esetén visszamarásra kerül a felső réteg, majd azt felhasználva, RA réteget állítunk elő 10-20 cm vastag-

ságban, amire friss melegaszfalt kopóréteg építhető. Az alkalmazott technológiáról kedvező tapasztalatok vannak Európa szerte, Svájcban, Horvátországban, a világban többi részén az USA-ban és Ázsiában is.

A nemzetközi kitekintés mellett, hazai példa a módszer sikeres alkalmazására a 2618. j út egyik felújított szakasza. A beavatkozás előtti-utáni behajlási értékeket a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra



További külföldi példa a Grave emulzióra. Ennek a technológiának a lényege, hogy ásványi anyagot -ami lehet teljesen új anyag, vagy részben új, esetleg egészében újrahasznosított ásványi anyag- emulzióval keverünk két lépcsőben. Elsőnek a finom ásványi anyagot keverjük az emulzióval, ezt követően adjuk hozzá durva ásványi anyagot. A táblázatban a frakciók, illetve kötőanyag tartalmak láthatók alapréteg, vagy profilozás esetén.

### Költségek

Költségeket is figyelembe véve, 10%-os kopóréteg visszaadagolást, alsóbb réteg esetén 20% visszaadagolást feltételezve akár 10% költségmegtakarítás érhető el teljesen friss keverékek alkalmazásával szemben.

### Szabályozási kérdések

Ahhoz, hogy az eddig felsorolt problémákra a javasolt műszaki megoldásokat szélesebb körben is alkalmazhassuk, elsődlegesen a következő előírásokat is szükséges frissíteni:

Visszanyert aszfalt használata meleg aszfaltkeverék gyártásához az MSZ EN 13108-8:2015 Útépítési aszfaltkeverékek, az e-UT 05.02.15:2008 és e-UT 05.02.11:2018 korszerűsítés szükséges. Visszanyert aszfalt használata hideg aszfaltkeverék gyártásához az e-UT 05.02.16:2004 korszerűsítés szükséges. Visszanyert aszfalt használata burkolat-alapok keverékeinek gyártásához az e-UT 06.03.52:2019 és az e-UT 06.03.26:2020 korszerűsítés szükséges.

## Környezetvédelem, energia megtakarítás

Végül, de nem utolsó sorban a környezetvédelemről is szót kell ejtenünk. A meleg aszfaltkeverékekhez viszonyítva nagy 100% RA adagolással 75% energiafelhasználás csökkenés érhető el, amely jelentős részben a kötőanyag, keverékgyártás és szállítás miatt jelentkezik, de ásványi anyag felhasználás vonatkozásában is 10%-hoz közelít a megtakarítás mértéke. Ezt szemlélteti a 10. ábra.

Továbbá üvegházhatású gázkibocsátásban, illetve CO<sub>2</sub> egyenértékben is hasonló arányú a nyereség, ez jelentős mértékben a kötőanyag és keverékgyártás által keletkezett emisszióknak köszönhető.

### Összefoglalás

Több, mint 2 millió tonna mart aszfalt keletkezik a közeljövőben a gyorsforgalmi útfelújítások kapcsán. Ennek csak 25%-a adagolható vissza meleg aszfaltkeverékbe, ezzel párhuzamosan 20-30 éven belül a hazai közetgyáron kimerül, és közben a mellékúthálózat is igen nagy arányban leromlott állapotú, ami folyamatos rekonstrukciót igényel. De jó hír, hogy a mellékúthálózati felújítás hideg eljárást alkalmazó keveréssel, akár 100%-os visszaadagolással is megoldható, valamint környezetvédelem szempontjából is kedvező, mert energia- és CO<sub>2</sub> kibocsátás közel 75%-al csökkenthető.

## Minőségirányítás az útépítésben és kapcsolódó létesítményeinél. Minőségbiztosítási dokumentumok.

### Asbóth Lajos Tamás



okleveles építőmérnök,  
útügyi-technológus szakmérnök  
ügyvezető  
Asbóth Mérnöki Iroda Kft

### Bevezetés

A tárgyi témában a hazai útépítésekre jellemző minőségirányítási gyakorlatot kívánom bemutatni, illetve annak jelenlegi hiányosságait, gyengeségeit. Ezt elsősorban a jelenleg alkalmazott minőségbiztosítási dokumentumok és az útépítés szakterületet legfontosabban szabályozó útügyi műszaki előírások alapján teszem.

A jelenlegi újságcikk az ezt megelőzően készült a „A Minőségirányítás az útépítésben és kapcsolódó létesítményeinél. Minőségbiztosítási dokumentumok. Követelmények és ellentmondások az előírásokban.” című szakdolgozatom egy részére épül. A szakdolgozat és jelen cikk célja az, hogy felhívja a figyelmet a hazai útépítésben alkalmazott minőségirányítási gyakorlat hiányosságaira és sajnos nagyfokú eredménytelenségére. Javasolja a minőségirányítás gyökeres megváltoztatását. Keretszabályozási rendszer lefektetésében gondolkodik, melynek elemeit az Útügyi Műszaki Előírásokba történő integrálásával oldaná meg.

Jelen cikk is elsősorban gyakorlati szempontból közelíti meg az útépítési feladatokat, azok minőséggel szemben támasztott követelményeit. Kevésbé tudományos céllal és szöveggel készült. Elsősorban a szakkivitelezésben résztvevő művezetők, építésvezetők szempontjából építi fel a mondanivalóját.

Akik feladata elsősorban a termelés irányítása, illetve közvetlen ellenőrzése.

Az ő szemszögükből amikor az első „kapavágás” megtörténik, a termelés orientáltság a fő szempont.

A minőségbiztosítási dokumentumok kivitelezés közbeni készítése sok esetben életszerűtlen. Nem képes lekövetni a kivitelezés gyorsaságát, hirtelen változásait. Ugyanakkor olyan

technológiákra kell készíteni ezeket a dokumentumokat, amelyeknek többségét keret szabályozásban is lehetne kezelni.

Ezeknek a dokumentumoknak a gyártása jelenleg felesleges akadályokat szül és felesleges adminisztrációt tesz a termelés irányítás vállára is.

A megfelelő, gyakorlatias minőségirányítás az egyik legfontosabb lépés lenne annak eléréséhez, hogy az útépítési munkák minőségének tekintetében látványos és érezhető előrelépés legyen. A megfelelő minőség szabályozás azonban nem a minél több adminisztrációt jelenti.

Adjon a szakma az UME szabályozásán belül kötelezően alkalmazandó keret dokumentumokat az egyes rétegek, szerkezeti elemek és az azokhoz tartozó anyagok esetén.

Legyen az Útügyi Műszaki Előírásokon belül keret dokumentumként szabályozva a Technológiai Utasítás (TU) (inkább követelmény), az MMT, az Anyagbemutató (AB). Legyen szabályozva és meghatározva azon rétegek esete, melyeknél a Próbabeépítés szükséges és melyek esetében nem szükséges (nem kötelező).

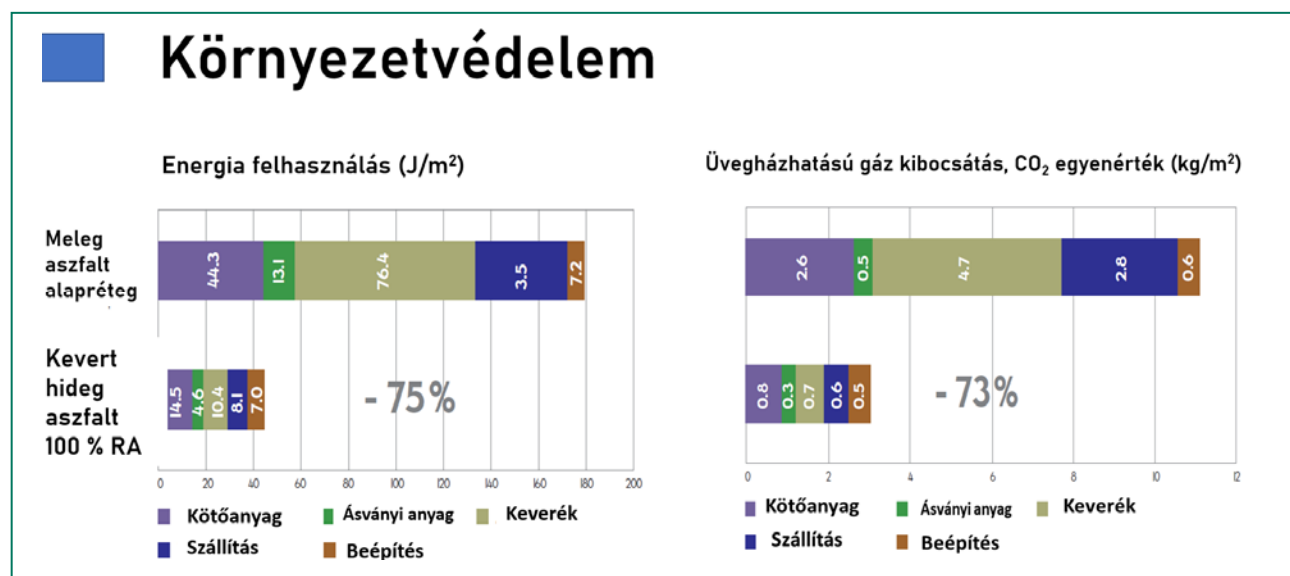
Legyen egységesített rendszere a Minősítési Dokumentációnak.

Ezeket a dokumentumokat, szabályozásokat mind „kis-munkákon”, mind „nagy-munkákon” figyelembe kellene venni (útkategóriák szerint). Ezek tulajdonképpen automatikusan a projekt minőségbiztosítási dokumentumának tekinthetők lennének. Eltérrni a keretszabályozástól Mérnök jóváhagyással lehetne, amennyiben az szakmai értelemben mindenképp indokolt és szükséges. Rétegekre, szerkezetekre vonatkozó keretszabályozással elkészített Technológiai Utasítás (követelmény), MMT, AB, melyek UME-on belül válnának elérhetővé. Ezek egyben kiindulások is lennének a tervezések esetén adódó technológiai kérdésekhez, anomáliákhoz. Az egyéb szakági tervezők is egységesen láthatnának, kezelhetnének előírt technológiai követelményeket. Már a tervezési fázisban segítséget adna az egységes minőségbiztosítási dokumentum rendszer.

A bürokrácia csökkentése után a technológus kör a felesleges adminisztrációs terhektől megszabadulva inkább a gyakorlati minőségellenőrzési feladatait előtérbe helyezhetné. Egyfajta technológus-építésvezetői feladatkörbe emelve jobban hozzájárulhatna a technológiai fegyelm-zettségi biztosításához.

A labor vizsgálatok gyakorlatának megváltoztatása is indokolt a fentiekben. A labor dokumentum gyártás mellett az értelmes labor mérések kapjanak elsődleges szerepet. Csökkenjen a vállalkozói labormérés és jelentősen növekedjen az építetői.

Kevesebb ismétlődő bürokráciára, több gyakorlati alapú keretszabályozásra van szükség a szakmában.



10. ábra



## Magyar közúthálózat elemei, beavatkozásokra jellemző minőség-irányítási gyakorlat

Mint ismert, a magyar közúthálózat elemei az alábbiak szerint épül fel:

Országos Közutak

- Autópályák, autótutak
- Főutak és átkelési szakaszok

Helyi közutak

- Települések közútjai kül- és belterületen
- Budapest, fővárosi és kerületi utak

A magyar műszaki szabályozás hierarchiája a következőképpen épül fel (hierarchiai sorrendben):

Jogszabályok:

Törvény, rendelet. Ezek kötelezően alkalmazandók.

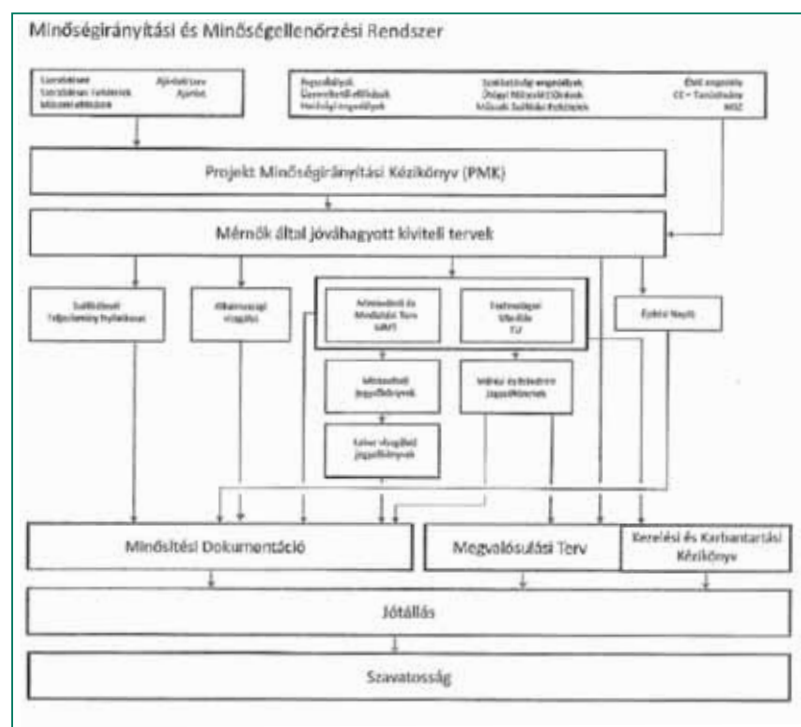
Műszaki specifikációk:

Európai szabvány, Nemzeti szabvány, Útügyi műszaki előírás, Nemzeti műszaki értékelés (NMÉ), Európai műszaki értékelés (ETA), Vállalati szabályozások. Ezek önkéntes módon alkalmazhatók.

Jelen cikk az útügyi műszaki előírások szintjén taglalja a hazai útépitésekre jellemző minőségbiztosítási dokumentálásokat.

Az úthálózaton végzett építés kivitelezési munkák, felújítások során a minőségirányítás szempontjából két nagy csoportot különböztethetünk meg:

- Szabályozott minőségirányítás (minőségirányítás szabályozott keretek között történik)
- Szabályozatlan minőségirányítás (minőségirányítás nincs szabályozva, vagy egyáltalán nincs)



Szabályozott minőség irányításra jellemző séma

### Szabályozott minőségirányítás

A szabályozott minőségirányítással rendelkező építések, felújítások körébe jellemzően azok az utak tartoznak, melyeknek kezelését a Magyar Közút Nonprofit Zrt végzi. 2013. november 1-től a Kormány 1600/2013. (IX. 3.) határozatának értelmében a Magyar Közút Nonprofit Zrt. átvette az Állami Autópálya Kezelő Zrt. (ÁAK) közútkezelői tevékenységét is. Ezeknél az építési, felújítási feladatok lebonyolítását többnyire a NIF Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt végzi. A NIF Zrt. (korábban Nemzeti Autópálya Rt.) ország egyik legnagyobb állami beruházó cégeként 2007. február óta a közlekedéspolitikáért felelős minisztérium megbízásából lát el építési, felújítási feladatokat a gyorsforgalmi utak, közutak területén. Mellékesen megemlítendő, hogy 2007 nyaratól a MÁV Zrt. EU projektirodájától átvette a vasútfejlesztési feladatokat is.

Szabályozott minőségirányításról tehát elsősorban az Országos Közutak építése, felújítása esetén beszélhetünk.

Ezeknél a beavatkozásoknál a minőségirányítás szabályozott keretek között történik. Ezt a szabályozást a Magyar Közút, mint kezelő, illetve a NIF mint beruházó szabályozott előírásai biztosítják. Ezek a szabályozások már a tervezési, tenderezési időszakban megszabják, előírják az elvárt követelményeket.

A Magyar Közút kezelésébe tartozó utak esetében az **Útügyi Műszaki Előírások (UME)** alkalmazását kell figyelembe venni. A NIF beruházásaként megvalósuló projekteknél a NIF ajánlatkérési dokumentációja szerinti úgynevezett **III-as kötet-műszaki előírások** dokumentumát is alapul kell venni. Ezek és a vonatkozó MSZ figyelembevételével elkészíthető egy adott projekt Minőségbiztosítási Dokumentumai.

### Szabályozatlan minőségirányítás

Szabályozatlan minőségirányításról beszélhetünk a helyi közutak, magánutak esetében.



Példa a szabályozatlan minőségirányítású útfelújításra

Itt a beavatkozások (építés, felújítás) alkalmával a minőségirányítás vagy szabályozatlan keretek között történik, vagy egyáltalán nincs. Ezekre az utakra a Magyar Közút, vagy a NIF szabályozott előírásai nem vonatkoznak.



1. példa a gépjárművekkel terhelt közterekre

A következő képen további példaként említhető a budapesti Puskás Stadiont körbe ölelő kb. 65.000 m<sup>2</sup> térburkolattal ellátott tér. Itt kamionok, csapatbuszok terhelik majd a pályaszerkezetet.



2. példa gépjárművekkel terhelt közterekre

Javuló változást mutat az, hogy a korábbi szabályozással ellentétben a 2018 után megjelent Útügyi Műszaki Előírások alkalmazása már nem csak az országos közutakon lesz kötelező, hanem a helyi közutakon és a közforgalom elől el nem zárt egyéb utakon végzett új fejlesztési beruházások építési, meglévő utak rekonstrukciós munkáira, valamint a fenntartási beruházások esetében a felújítási munkákra is fog vonatkozni.

Azonban meg kell említeni, hogy a UME-ok alkalmazásának kötelezővé tétele önmagában nem fog segíteni a tárgyi utak (önkormányzati utak, magánutak) minőségbiztosításának szabályozásában. Másszóval az építés közbeni minőségbiztosítás, a jelen UME-ekkel, részben azok nagy terjedelme miatt, illetve azt a tényt is figyelembe véve, hogy a résztvevők nem feltétlenül ismerik az UME-ok jelen szabályozását (és tartalmát!) nem lesz biztosítható. További segítség lehet a Közutak Építésének Szabályzata (KÉSZ) is.

Ugyanakkor hathatós javulás akkor érhető el, hogy az építés közben elvárt minőségi követelményeket további meghatározott keretek közé kell rendezni, oly módon, hogy minden résztvevő számára könnyen elérhető és értelmezhető legyen.

Külön szeretném még megemlíteni a szabályozás alá semmilyen módon nem tartozó olyan köztereket, melyeken időszakosan ugyanúgy gépjármű forgalom zajlik, mint a közutakon.

Példaként látható az alábbi két fotón Sopron főtere. Az első képen nyári, a második képen téli időszakban. Látható, ahogy szezonálisan különböző gépjárművek veszik igénybe a területet.





A fentiekben összefoglalásra került a hazai útépitési feladatokra jellemző minőségirányítás két nagy csoportja.

A szabályozott minőségirányítás, ahol a projektek minőségirányítása szabályozott keretek között, szakmai felkészültség és ellenőrzések mellett zajlik

A szabályozatlan, ahol pedig a minőségirányítás nincs keretek közé helyezve. A minőségbiztosítási dokumentumok alkalmazása eseti jellegű, vagy egyáltalán nincs. Annak jelenléte, megfelelősége, hatása függ a résztvevők szakmai felkészültségétől, tapasztalatától. Részt vettek e nagyobb projektek szervezett minőségirányításában. Bizonyos esetekben egyáltalán nincs jelen a minőségbiztosítás. Az építés közben, illetve követően az elkészült létesítmény minőségellenőrzése nem történik meg.

Különböző grafikonokkal, kimutatásokkal ábrázolni lehetne, hogy nemzetgazdasági szempontból milyen többlet költséget okozhat az, hogy az elkészített létesítmények a tervezési élettartam előtt tönkre mennek. Itt szeretném megjegyezni, hogy ilyen kimutatás nem célja jelen újság-cikknek. A jelenlegi minőségirányítási gyakorlat hiányosságaira kívánja felhívni a figyelmet.

Ezeknek az idő előtti tönkremeneteleknek az egyik fő okozója a nem jól megválasztott technológia, a rossz időben megválasztott technológia, a nem megfelelően kiválasztott anyagminőség, az építés közbeni minőség ellenőrzés hiánya, vagy kezeletlensége, vagy csupán csak a leggyakrabban jellemző technológiai fegyelmezetlenség stb.

Ezeknek egy jó részét kezelni lehetne egy kötelezően előírt, meghatározott keretek közé helyezett minőségbiztosítási követelmény rendszerrel.

Az ilyen meghatározott, konkrét keretek közé helyezett minőségbiztosítás, amelyet minden résztvevőnek alkalmazni kellene egyfajta biztosítékot adhatna arra, hogy az elkészült létesítmények kivitelezése fegyelmezettebben, jobb minőségben készüljenek el. Ezek közép és hosszú távon is éreztetnék hatásukat mind műszaki, mind gazdasági értelemben.

Ahhoz, hogy ez elérhető legyen minden „útépitési jellegű” munkára valóban útépitési feladatként kellene tekinteni. A minőségirányításukat pedig oly módon szabályozottá kell tenni, hogy ne csak a nagyprojekteken történjen meg a minőségirányítás, hanem az önkormányzati, a magánutakon, és a sehoiva nem tartozó közlekedés funkcióit ellátó terek esetében is.

A UME-ok alkalmazásának kötelezővé tétele örömteli és nagy előrelépés ezen a téren, szintén nagyon fontos dokumentumként készül a Közutak Építésének Szabályzata (KÉSZ) is.

Ugyanakkor meg kell szögezni, hogy az egyes résztvevők szakmai felkészültségének, az UME-ok ismeretének hiánya, nagy terjedelme miatt az Útügyi Műszaki előírásokban előírt követelmények nem fognak minden esetben érvényesülni, önmagában nem fogja biztosítani az előrelépést a fent vázolt problémákban.

Megállapítható tehát, hogy további lépésekre van még szükség ahhoz, hogy a jelenleg az útépitésben alkalmazott minőség szabályozás hatékonyabban működjön, illetve minden útépitési feladatnak tekinthető kisebb munkák esetében is működjön, egyáltalán működő képes legyen.

## Minőségbiztosítási dokumentumok. Jellemzőik, felépítésük a jelenlegi gyakorlat szerint

Minőségbiztosítási dokumentumok alatt azokat a dokumentumokat értjük, amelyek az építési, kivitelezési munkák során biztosítják, igazolják a tervezett anyagok elvárt műszaki teljesítményét, az előírt, vagy szakmában elfogadott beépítési technológiai folyamat és a beépített rétegek, vagy szerkezet megfelelőségét. Ezáltal a tervezett építmény rendeltetésszerű használata a tervezési élettartama alatt feltételezhetően biztosítva lesz.

Minőségbiztosítási dokumentumok a Projekt Minőségbiztosítási Kézikönyv (PMK), az Anyagbemutatás (AB), a Próbabeépítés dokumentumai (PB), a Technológiai Utasítás (TU), a Minősítési és Mintavételi Terv (MMT), a Minősítési dokumentáció (MD).

Külön meg kell említeni a vizsgáló laborokat, kontroll laborokat, geodéziát, kontroll geodéziát, valamint azok dokumentumait, melyek a minősítési dokumentáció alapját képezik.

A minőségbiztosítási dokumentumok közül a PMK, AB, PB, TU, MMT az építési munkák megkezdése előtt elkészítendő (el kellene készíteni!). Ezek a dokumentumok hivatottak megszabni és biztosítani a technológiai fegyelmezetség és az elvárt minőség kereteit. Ezen dokumentumok alapján, az elvégzett labor és geodéziái vizsgálatokkal készül el a szerkezeti/réteg egységként a Minősítési Dokumentáció, mely igazolja az adott réteg megfelelőségét.

A minőségbiztosítási dokumentumok alkalmazása szabályozott minőségirányítás esetén elő van írva, annak részét képezik. Általában rendezett, jól felépített dokumentumok jellemzők.

Szabályozatlan minőségirányítás esetén a minőségbiztosítási dokumentumok alkalmazása eseti jellegű, vagy egyáltalán nincs. Követelmények hiányában elsősorban a résztvevők műszaki felkészültségétől, tapasztalatától és szokásuktól függ. Emiatt a dokumentumok tartalma sokszor rendezetlen, szabályozatlan. Tartalmuk nem megfelelő.

## Projekt Minőségirányítási Kézikönyv

A Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt lebonyolításába tartozó építési, felújítási munkáknál előírás a Szerződéses Feltételek szerint elkészített és Mérnök részéről jóváhagyott, a Projektelelem építésére vonatkozó Minőségbiztosítási Kézikönyv. Annak meg kell felelnie az ajánlatkérési dokumentációban (III-as kötet) előírtaknak.

A Kézikönyvben konkrétan rögzíteni kell a teljesítéshez szükséges feladatokat, követelményeket és a követelmények ellenőrzési pontjait, a minőségellenőrzésre és felügyeletre vonatkozó elképzeléseket, feladatokat.

A Vállalkozónak a Kontroll Labor a Mérnök és a Vállalkozó kapcsolattartására, a nem megfelelőségek kezelésére vonatkozóan eljárásrendet kell a munkák megkezdése előtt kidolgoznia és a Megrendelővel elfogadtatnia.

A Vállalkozónak a Minőségbiztosítási Kézikönyvben az alábbiakat kell ismertetnie:

- a megvalósítandó projektet, főbb műszaki paramétereit, a műtárgyakat,

- az Ajánlatában megnevezett társaságot, szervezeti felépítését, megnevezve a felelős személyeket (a minőségbiztosítási felelősöket is), elérhetőségüket, felelőségi körüket, hatáskörüket,

- a 10%-ot meghaladó Alvállalkozókat, azok felelős személyeit, elérhetőségeit,

- a szervezeti egységek, konzorciumi tagok közötti kapcsolatokat,

- a belső minőségbiztosítási rendszert, feladatokat, eljárásokat, kiemelve a nem megfelelőségek kezelését,

- a Vállalkozó és az Alvállalkozók közötti információáramlást, a felelőségi szabályozást,

- minőségpolitikai nyilatkozatát,

- a projekt minőségbiztosítási rendszer dokumentumait (Külső és belső dokumentumok),

- az általa alkalmazott laboratóriumokat, mellékelve azok akkreditálási okiratait, a hozzá tartozó részletező okiratot,

- a Technológiai Utasítások, Mintavételi és Megfelelőségigazolási Tervek, Anyagbemutatások táblázatos nyilvántartásának módját, azok aktualizálására vonatkozó határidőket, felelősöket,

- A felhasznált, beépített anyagok nyomon követhetőségének módszerét.

A Projekt Minőségbiztosítási Kézikönyv aktualizálásáról, módosításáról, újbóli elfogadásáról a Vállalkozónak gondoskodnia kell.

Nem része a Projekt Minőségbiztosítási Kézikönyvnek egyetlen Technológiai Utasítás vagy Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv sem.

## Konklúzió

A Projekt Minőségirányítási Kézikönyv a nagyobb, elsősorban a NIF beruházásában készülő projektek dokumentuma. Az ilyen projekteket elnyerő vállalkozások jellemzően szakmailag felkészült, adminisztrációs személyzettel ellátott cégek, amelyek képesek az ilyen volumenű dokumentumok előállítására.

A kisebb munkák esetében az ilyen dokumentum alkalmazása, illetve megkövetelése értelmetlen. Felesleges adminisztrációs terhet és költséget helyezne a feladatot elvégző vállalkozásokra. A megvalósuló létesítmény minőségében szinte semmilyen szerepet nem játszana.

## Anyagbemutatás (AB)

### Anyagbemutatás jellemzői

Az Anyagbemutatás dokumentum a kivitelezés során felhasználni kívánt anyagok bemutatása, amely ismerteti az anyag főbb minőségi jellemzőit, származási/gyártási helyét, a kitermelés/előállítás módját, technológiáját, a gyártás körülményeit. Melléklete a magyar nyelvű teljesítmény nyilatkozat, illetve a mérési, vizsgálati jegyzőkönyvek sokasága.

Milyen anyagot építünk be? Megfelelő anyagot építünk be? Ez egy nagyon fontos első lépés a megfelelő minőség elérésében.

Szabályozott minőségirányítással rendelkező projektek esetében az Anyagbemutatás dokumentuma előírás minden beépítendő anyag esetében. Az Anyagbemutatás dokumentummal a tervezett anyagok műszaki követelmé-

nyeinek való megfelelés ellenőrizhető, hagyható jóvá. A beépíteni kívánt anyagot a felhasználás előtt a Mérnöknek jóvá kell hagynia, jóváhagyás nélkül nem kezdhető meg a munka. Azt azért meg kell jegyezni, hogy az Anyagbemutatások formai követelménye szabályozott minőségirányítás esetén is viszonylagosan szabályozatlannak tekinthető.

Szabályozatlan minőségirányításnál nem követelmény a tárgyi dokumentum. Ahol felkészült műszaki ellenőrzés, vagy megrendelői kör van, a beépítés előtti anyagok ellenőrzése általában megtörténik. Az ellenőrzés szabálya viszont nincs keretek közé rendezve. Ez történhet valamilyen dokumentálással, vagy csak önmagában egy teljesítmény nyilatkozat bemutatásával, esetleg szóbeli jóváhagyással.

## Konklúzió

Sajnos nagyon sok esetben (jellemzően önkormányzati utak) a kivitelezési munkák úgy kezdődnek meg, hogy a beépített anyagok tervezettnek való megfelelőségét senki nem ellenőrzi. Emiatt komoly visszaélések lehetnek és vannak is az alkalmazott anyag típusok terén.

Az anyagbemutatás dokumentálását, javasolt lenne minden esetben kötelezővé tenni. Egyrészt minden megrendelői körnek joga van még a beépítés előtt meggyőződni a beépülő anyagok megfelelőségéről. Másrészt mind a megrendelőnek, mind a kivitelezőnek felelősége van abban, hogy az általánosságban közpénzre tekinthető finanszírozásból megvalósuló projektek esetében megfelelő termék épüljön be a létesítménybe (a törvényi szabályozások pontos vizsgálatával nem foglalkozik jelen szakdolgozat).

Elmondható, hogy az Anyagbemutatás dokumentumának összeállítása, értelmezése elsősorban a szabályozatlan minőségirányítás esetén okozhat gondot. Ezt a szakmai ismerethiány, a gyakorlati és a minőségirányítási tapasztalat hiánya okozhatja. Természetesen az sem elvárható, hogy minden megrendelői kör (pl. önkormányzat) teljes szakmai felkészültséggel kezeljen mindennemű útépitési feladatot, illetve az azokkal együtt járó különböző technológiákat. Ezért kellene a szakmának meghatározni a követelményeket. Majd azokat oly módon szabályozni és elérhetővé tenni, hogy az útépitésben kevésbé jártas szakember, vagy megrendelő is viszonylag könnyen kezelni és értelmezni tudja.

Építsük be az Anyagbemutatás dokumentálási kötelezettségét az UME-ok szabályozási körébe. Az UME terjedjen ki a beépítendő anyagok szabályozására, adjon keretet a dokumentum formai követelményére. Konkrétan határozza meg a becsatolandó dokumentumok típusát, sorrendiségét (ahogy a fentiekben említettem, ez a szabályozott minőségirányítás esetében is viszonylag rendezetlennek, szabályozatlannak tekinthető).

Alkalmazzunk (lehetőleg kötelezően) egy összefoglaló táblázatot a dokumentum elején, amely röviden összefoglalja a tervezett és a beépíteni kívánt anyagok legfőbb paramétereit. Egy ilyen egyszerű táblázat használatával elérhető az, hogy az esetlegesen kevésbé jártas megrendelő, vagy képviselője legalább értelmezni tudja a tervezett, valamint az alkalmazni kívánt anyagokat és nem veszik el a több oldalas teljesítmény nyilatkozatok, jegyzőkönyvek halmazában.

A fentiek tapasztalatából saját gyakorlatomban az alábbi egyszerű összefoglaló táblázatot vezettem be az anyagbemutatások terén.



Anyagbemutatás-összefoglaló táblázat				
Tervezett anyag megnevezése/helye	Zúzottkő 0/56		fagyvédő réteg	
Beépíteni kívánt anyag megnevezése/gyártó	FZKA 0/56		Lasselsberger Hungária Kft	
Azonosítás (jellemző paraméter)	Tervezett anyag követelményei	Beépíteni kívánt anyag jellemzői	Értékelés	
			Eltérés	Megfelelő/Nem megfelelő
Anyag	Zúzottkő	Folyamatos Szemeloszlású Zúzottkő alap	-	Megfelelő
Méret/Szemcseméret	0/56	0/56	-	Megfelelő
Szilárdsági jell.	-	-	-	-
...	-	-	-	-

Példa anyagbemutatások összefoglaló táblázatára

Az egyszerű példán fagyvédő réteghez használandó anyag került bemutatásra. A tervezés során az anyag csak általánosságban van megfogalmazva, majd beépítendő anyagként már egy konkrét típus lett kiválasztva.

Az ilyen egyszerű táblázatot többé-kevésbé minden résztvevő értelmezni tudja, az anyagok szállítóleveleivel összevetve könnyen ellenőrizhető, hogy a helyszínre valóban a megfelelő termék érkezett.

## Próbabeépítés (PB)

### Próbabeépítés jellemzői

A próbabeépítés célja annak a megállapítása, hogy az adott szerkezetet, adott helyen, a tervezett anyagból, a tervezett technológiával és eszközökkel az elvárt minőségben el lehet-e készíteni.

A próbabeépítés szabályozatlan minőségirányításnál nem jellemző, szabályozott minőségirányításnál általában elő van írva egyes rétegekre.

Az utóbbi esetben próbabeépítést kell végezni arra a szerkezeti rétegre, amelyre a Terv, vagy a Műszaki Előírások azt előírják. A Vállalkozónak a nagytömegű beépítés megkezdése előtt anyag fajtáknak kell a próbaépítést elvégeznie. Az üzemszerű/nagytömegű beépítés csak sikeres próbabeépítés (próbaeverés, próbatömörítés) után kezdhető meg.

Meg kell említenünk a próbatömörítés és a próbakeverés fogalmakat is. A próbatömörítés a próbabeépítés egy szűkebb változata, amelynek célja az optimális tömörítési technológia meghatározása. A próbakeverésről pedig kötőanyag tartalommal rendelkező keverőgéppel előállított (aszfalt, beton, Ckt) anyagok esetén beszélhetünk.

A próbabeépítés történhet külön erre a célra kijelölt szakaszon (ez független a tervezett nyomvonalától), de történhet a nyomvonalban is, de ebben az esetben nem megfelelő esetben a Vállalkozónak kötelessége elbontani a próbaszakaszt.

Próbabeépítést (próbatömörítést) általában a következő rétegek estén kell végezni:

Töltés, Javító réteg, Fagyvédő réteg, Talajstabilizációk, Padka, Alaprétegek (Ckt alapréteg, Aszfalt alapréteg), Aszfalt kötőréteg, Kopóréteg anyagának beépítésének esetén.

### Konklúzió

A fentiekben röviden összefoglaltam a hazai útépitési területen ott, ahol szabályozott minőségirányításról beszélhetünk a próbabeépítések lebonyolítására, dokumentálására vonatkozó legjellemzőbb gyakorlatokat.

Kivitelezői és műszaki ellenőri tapasztalataimmal a próbabeépítések tekintetében a következőket merem kijelenteni: a próbabeépítések egy része tulajdonképpen feleslegesnek tekinthető. Dokumentálásuk pedig rendkívül túlzó, bonyolult és feleslegesen nagy terjedelmű.

**A valóságban próbabeépítésekre csak bizonyos rétegek építésénél lenne szükség.** Elsősorban a kötőanyag tartalmú rétegek esetén szükségesek (talajstabilizáció, Ckt, beton, aszfalt rétegek), esetleg magasabb töltésepítések során, kiemelve azokat, ahol például „piskótázással” készül a töltésanyag. Kötőanyag tartalmú rétegeknél, ez különösen akkor igaz, amikor egy új keverék kerül alkalmazásra, vagy mobil keverőtelep kerül felállításra.

A kötőanyag nélküli rétegek nagy hányadában tulajdonképpen teljesen felesleges a jelenlegi próbabeépítések eljárása. Gondoljunk bele, hogy amikor egy földmű anyagból alkalmassági vizsgálatokat követően megállapítjuk a földmű anyagként való besorolását (M1, M2, stb), a tömöríthetőségét (T1, T2 stb), akkor mit várunk még a próbabeépítéstől? Például jelenleg egy FZKA anyagból készülő nemestett padka, vagy fagyvédő réteg építése előtt is próba beépítést kell tartani. Komolyan gondoljuk, hogy egy FZKA anyagból nem tudjuk megépíteni megfelelő minőségben a fagyvédő réteget, vagy a padkát. Ha nem tudjuk, azt nem a próbabeépítés léte, vagy nem léte okozza. A fogadó felületnek megfelelőnek kell lenni, hiszen eltakarási engedély kiadása szükséges, melynek előzménye az MMT szerinti megfelelés. Az FZKA anyag egy kiváló és jól tömöríthető földműanyag. Akkor miért is kell egy ilyen agyag esetén akár több 10 oldal dokumentumot előállítani annak bizonylatolására, hogy beépíthető?

Az Anyagbemutatások részfejezeténél javasoltakhoz hasonlóan a Próbabeépítések dokumentálási kötelezettségét is

célszerű lenne beépíteni az Útügyi Műszaki előírások szabályozási körébe. Józan szakmai megközelítéssel konkrétan meg kellene határozni azokat az eseteket, rétegeket, szerkezeti elemeket, ahol próba beépítéseket kell végezni.

AZ UME adjon keretet a dokumentum formai követelményére és egyszerűsítse azt, szorítkozzon a kifejezetten szakmai szempontokra. A próba beépítés szakmailag lényeges részét körülbelül két oldalas formanyomtatvány keretében kezelni lehetne.

## Technológiai Utasítás (TU)

### A technológiai utasítás jellemzői

A Vállalkozó azon utasítása, amely az adott réteg, szerkezet (szerkezeti elem) megvalósításának vagy megszüntetésének feltételeit tartalmazza. A TU-t a Vállalkozónak kell elkészítenie. Technológiai Utasítás készülhet munkafolyamatra, eljárásra, vizsgálat végrehajtására stb.

**Szabályozott minőségirányítással** rendelkező projektek esetében a Technológiai Utasítás dokumentum elő van írva minden munkafolyamatra, eljárásra stb. Tartalmi előírás tekintetében a Technológiai Utasításnak (TU) tartalmaznia kell minden munkanemet és előírást, ami a vonatkozó előírásoknak megfelel, beleértve az alkalmazni kívánt építési termék előírásait is. A minőségi követelményeknek meg kell felelniük az adott építményre előírt követelményeknek. A NIF által bonyolított munkákon a fentiekben kívül az alábbi követelményeket kell még teljesíteni ezzel kapcsolatban.

A TU-t a Mérnök részére jóváhagyásra át kell adnia az építési munka megkezdése előtt a Műszaki Követelményekkel összhangban levő, építményenként összeállított Mintavételi és Megfelelőség igazolási Tervvel (MMT). Ezen dokumentumok Mérnök általi jóváhagyása az adott építményre/szerkezetre vonatkozó munkakezdési engedély kiadásának egyik feltétele.

A NIF Műszaki Előírásai (III-as kötet) több esetben külön TU készítését írja elő, pl. különleges időjárási körülmények esetén (Pl. Téli munkavégzés), vagy adott munkanemekre. Kisebbségi munkák esetén Mérnök döntése alapján ez része lehet az adott szakági Technológiai Utasításnak. A NIF-es Műszaki Előírások szerint a Technológiai Utasítás és a Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv részletes tartalmi követelményeit az Útügyi Műszaki Előírások, azok esetleges kiegészítéseit a NIF által kiadott Műszaki Előírások (III-as kötet) szakági fejezetei tartalmazzák.

**Szabályozatlan minőségirányítás** mellett a Technológiai Utasítás dokumentum általában nincs követelményként előírva. A jelenlegi gyakorlat szerint a szerződés és munkaterület átadást követően a kivitelezés megkezdődik. Az alkalmazott technológiai folyamatok elsősorban a kivitelező cég és a kivitelezésben részt vevők szokásaitól, szakmai tapasztalatától és gyakorlatától fog függeni. Az alkalmazott technológia megfelelőségének felügyelete, a technológiai felelősség betartatása elsősorban a műszaki ellenőr (ha van) rutinjától fog múlni. Vitás esetekben gyakran az „így szoktuk csinálni”, a „szerintem” kategóriák érvényesülnek.

Megemlítendő, hogy szabályozatlan minőségirányítás esetén is a Technológiai Utasítás dokumentumot egyre több esetben írják elő követelményként. Azonban saját tapasztalatom és véleményem, hogy ez elsősorban nem a minőségbiztosítás szempontjainak érvényesülése végett alakult ki, hanem inkább csak egy szerződéses követelményi előírás lett. Egész egyszerűen „ha ott alkalmazták, akkor itt is alkalmazzuk” gondolat terjedt el és ezáltal mint egy fogalom,

bekerült a kivitelezési szerződések véráramába. A tenderezés időszakában már kiírásra kerül („mert így szoktuk”) és e követelmény teljesülésének eleget téve a vállalkozó elkészíti a dokumentumot (pontosabban készít valamilyen dokumentumot...).

Ilyen esetekben a Technológiai utasítások kötelező, előírt tartalma semmilyen módon nincs szabályozva. Azt többnyire egy korábban, vagy máshol alkalmazott dokumentum másolásával abszolválják a kivitelezők. A dokumentum elkészítésével és a megrendelőnek történő átadásával elmondható, hogy a szerződéses előírást teljesítették, elkészítették, leadták a TU-t. Ilyen esetekben a TU (eltérően a szabályozott minőségirányítással végzett projektektől) tartalmát, megfelelőségét gyakran nem ellenőrzi senki. Szerencsésebb esetben, ahol tapasztalt műszaki ellenőr került bevonásra, ott a dokumentumok tartalma, előírásai megfelelnek, de legalább megközelítik a szabályozott minőségirányítás dokumentumainak tartalmi felépítését.

### Útépitési munkák meghatározó technológiai utasításai

A fentiekben bemutatásra került, hogy a technológiai utasítások rendszerezett és rendezett felépítéséről a szabályozott minőségirányítással rendelkező projektek esetén beszélhetünk (a többi minőségbiztosítási dokumentumhoz hasonlóan). Ezek tulajdonképpen a NIF és a MK beruházása keretében megvalósuló munkákra igaz.

Az ilyen útépitési projekteknél jellemzően alkalmazott technológiai utasítások az alábbiakban kerülnek összefoglalásra.

#### Az útépités jellegű technológiai utasítások:

bontási munkák (szegély bontás, burkolat marás, profilmarás) TU, földmunka TU, talajstabilizálás TU, földmű felső rétegek építése (javító, fagyvédő rgt) TU, padka építés TU, alapréteg (jell. Ckt alapréteg) építése TU, hideg/meleg remix TU, aszfalt rétegek építése TU, beton burkolat építése TU,

#### Forgalomtechnikai technológiai utasítások:

festés TU, vezető korlát építése (szalagkorlát építése) TU, fényvédő háló építése TU, zajárnyékoló fal építése TU, közúti jelzőtábla építése TU, útszéljelző oszlop építése TU,

#### Vízvezetési feladatok (Vízépítési és vízi közmű feladatok) technológiai utasításai:

burkolt árok-folyóka építése TU, áteresztés építés TU, vízelvezető szegély-részúrsurrantó építése TU, burkolt elválasztó sáv TU, záportároló építése TU, Grooving vágás TU, kereszt és hosszcsatorna építés TU, szivárgó építés TU,

#### Speciális geotechnikai feladatokhoz kapcsolódó technológiai utasítás:

mélystabilizálás TU, kavicscölöpözés TU, cölöpalapozás TU, (stb. töltés alapozási módszerekhez)

#### Előkészítő és befejező munkákhoz kapcsolódó technológiai utasítások:

lőszermesztés TU, fakivágás-bozótirtás TU, humuszlepedés TU, humuszterítés TU, füvesítés és növénytelepítés TU

A felsorolás az útépitési munkák során a leggyakrabban alkalmazott és legmeghatározóbb Technológiai Utasításokat kívánja összegyűjteni és megnevezni. Ahogy korábban már említve volt több esetben külön TU készülhet különleges időjárási körülmények esetén vagy adott munkanemekre. Vezérgép vagy anyag változások miatt készülhetnek Kiegészítő Technológiai Utasítások (KTU). Javítási munkákhoz Javítási Technológiai Utasítások (JTU) Ezeket a továbbiakban nem kívánom részletezni.

Jelen cikk keretében a fent összefoglalt technológiai utasítások közül elsősorban az **útépités jellegű, a forgalomtechnikai**, illetve a járulékosan szinte mindig kapcsolódó



**vízvezetési feladatok** technológiai utasításokkal foglalkozik. A legszűkebb értelemben tulajdonképpen ezeket tekinthetjük kifejezetten az útépitésre vonatkozó részfeladatoknak.

A **speciális geotechnikai feladatok**, valamint az **előkészítő és befejező munkák** technológiai utasításaival jelenleg nem foglalkozunk.

#### Útépitési munkákhoz kapcsolódó további szakterületek technológiai utasításai

Egy nagyobb projekt egészét tekintve további feladatokhoz is készülnek technológiai utasítások, mint például támfalak, hidak építéséhez, valamint közmű kiváltások esetén a kiváltandó közművekhez kapcsolódó építési munkákhoz, vagy akár a kisajátítás során elbontandó építmények bontásához stb. Ezek szintén nem tárgya a jelenlegi bemutatásnak.

#### Technológiai utasítások felépítése

A dokumentumok felépítésének bemutatásánál a szabályozott minőségirányítással rendelkező projekteken alkalmazott technológiai utasításokat veszem alapul.

A Projekt Minőségirányítási Kézikönyvében szerepeltetni kell bizonyos szintű formai követelményt, melyet a Technológiai Utasítás készítésekor figyelembe kell majd venni. Ilyen például az előlapra vonatkozó előírás, előlap minta. A tartalmi előírás tekintetében a Technológiai Utasításnak (TU) tartalmaznia kell minden munkanemet és előírást, ami a vonatkozó előírásoknak megfelel, beleértve az alkalmazni kívánt építési termék előírásait is. A minőségi követelményeknek meg kell felelniük az adott építményre előírt követelményeknek, de további a tartalomra, a tartalomjegyzék szisztematikus felépítésére általában nincs külön előírás. Terjedelmüket tekintve az 5-10 oldalas dokumentumtól akár a 25-30 oldalas dokumentumig is terjedhet.

A dokumentumokról általánosságban elmondható, hogy egységes szerkezetűek, kivitelezőtől függetlenül szinte ugyanolyan felépítésűek. Kijelenthető, hogy egyes munkafolyamatokra vonatkozó Technológiai Utasítások felépítése és tartalma a projekt helyszíntől, időponttól, kivitelezőtől és műszaki ellenőrtől függetlenül nagyban megegyezik.

Ez részben annak tudható be, hogy Magyarországon az elmúlt másfél évtizedben az útépitésben érdekelt és legmeghatározóbb nagycégek minőségirányításban részt vevő szakemberei kisebb-nagyobb mértékben egyik helyről a másikra vándoroltak. Így az egyes cégekre jellemző minőségirányítási rendszerek is azonosultak egymáshoz.

A technológiai utasítások általában a következő tartalommal épülnek fel:

- Technológiai Utasítás hatálya
- A kivitelezési munka főbb paraméterei
- Szabványok
- Munkakezdés feltételei
- Munkafolyamatok
- Gépek, személyzet
- Anyagok
- Minőség
- Munkavédelem
- Tűzvédelem
- Környezetvédelem
- Elérhetőségek

#### Technológiai utasítások célja kontra eredményessége. Konklúzió

A technológiai utasítás célját és szerepét a következőképpen lehetne megfogalmazni: a technológiai utasítás célja, hogy egy adott réteg, adott helyen, adott technológiai folyamatok mellett az elvárt minőségben (MMT szerinti) épüljön be. Az elvárt minőség a technológiai utasításban előírtak betartása mellett biztosítható lenne. A TU betartása egyben a technológiai fejelem betartását is jelentené.

Saját gyakorlatom tapasztalatai alapján felteszem a kérdést, hogy a TU alkalmazása eléri-e az ímént megfogalmazott célját, eredményesnek tekinthető-e? A válasz nagyon egyszerű: sajnos nem.

Azt, hogy véleményem szerint ennek mi az oka, azt a következőkben próbálom kifejteni.

Itt ismét utalok rá, hogy **útépités jellegű, a forgalomtechnikai**, illetve a kapcsolódó **vízvezetési feladatok** technológiai utasításainak szempontjából vizsgálom a dokumentumokat.

Amikor megnézzük alaposabban ezeknek a dokumentumoknak a tartalmát, felépítését, azután feltehető a kérdés, hogy tartalmazznak-e olyan a különleges technológiákat, amelyeket a szokásos útépitési gyakorlat nem ismer? Megállapítható, hogy nem tartalmazznak ilyet. Szövegezésük sokszor szinte hasonló, általános és az ismert technológiai folyamatokat írják le.

Térjünk ki arra, hogy készül a készítésük.

A technológiai utasítást az adott réteg munkakezdésének megkezdése előtt el kell (kellene) készíteni. A dokumentum készítését elsősorban a Technológus végzi (ha az adott cég rendelkezik ilyen szakemberrel), aki a Mérnökkel, esetleg ha van ilyen, akkor a Mérnök technológusával egyeztetve készíti el a dokumentumot. Ez a gyakorlatban úgy néz ki, hogy elkészül egy dokumentum (v01 verzió), amely hivatalosan megküldésre kerül a mérnöknek. A Mérnök megnézi, visszaküldi észrevételeit. A Technológus az észrevételekről egyeztet, esetleg különböző kooperációk keretein belül történik az egyeztetés, vagy egyszerűen csak javítja a dokumentumot. Ez egymás után többször is megismétlődhet. Egy-egy dokumentum elkészülése több hetet is igénybe vehet, de akár hónapokról is beszélhetünk egy-egy vitás esetben, de önmagában csak a dokumentum szerkesztése is jelentős időt vesz igénybe. Ez akadályozza, lassítja a kivitelezést, holott a legtöbb esetben ismert technológiai eljárásokról beszélünk, de legyünk őszinték, gyakran megkezdődik a munka a TU elkészülte nélkül.

Amikor a Mérnök részéről elfogadásra kerül a technológiai utasítás a Kivitelező és a Mérnök aláírásokat követően hivatalos dokumentummá válik.

Saját tapasztalatom következő sajnálatos megállapítása: A technológiai utasítás tulajdonképpen a Mérnök és a Technológus közötti szakmai egyeztetések terméke és az is marad a kivitelezés során. Tulajdonképpen a szerződéses minőségi követelmények dokumentuma, amelyet vitás esetekben alkalmazni lehet. Viszont azt a célt, amelyre hivatott lenne, hogy biztosítsa a technológiai fejelemet, lényegében nem tudja ellátni. A konkrét termelést végző szubállalkozó szakkivitelezőkhöz a dokumentum kritikus esetekben el sem jut, vagy ha eljut, a szakmai tudást, fejelemet nem ez fogja biztosítani számukra. Abban az esetben amikor a szakkivitelező alvállalkozó elő tud készíteni egy ilyen dokumentumot, legtöbb esetben már egy korábban elkészített, sablonosan, ismétlődően leadott dokumentumról van szó.

Összességében azt kell kijelentnem, hogy a technológiai utasítások jelenlegi gyakorlatának műszaki értelemben a minőség biztosításának szempontjából semmi értelme nincs.

Vizsgáljuk meg a technológiai utasítások részfejezeteinek tartalmát:

-Technológiai utasítás hatálya: Azt írjuk le, amit a tervek-ből és a szerződésből már tudunk.

-A kivitelezési munka főbb paraméterei: ezeket az adatokat tartalmazzák a tervek és a költségvetések. Minden résztvevő ezeket veszi figyelembe. Nem tudok olyanról, hogy mennyiséget, szelvényt valaha bárki a TU-ból vizsgálta volna.

-Szabványok: Egy megoldandó műszaki kérdés esetén senki nem a TU-ban szerepeltetett előírásokat nézi, hanem az UME-t, MSZ-t, NIF előírásait veszi figyelembe, teljesen függetlenül attól, hogy az szerepelt, vagy nem szerepelt a TU-ban (műszaki értelemben, nem szerződéses szempontból).

-Munkakezdés feltételei: Általános megfogalmazások jellemzők rá. Például magától értetődő, hogy a fogadó rétegnek eltakarás előtt megfelelőnek kell lennie. Ezt külön az eltakarási engedélyek során kezelve van.

-Munkafolyamatok: Ez lenne a TU lényegi részfejezete, amelyet az UME-ban, szabványokban előírtak alapján határozza meg követelményeket. A szokásos technológiák szempontjából megközelítve semmilyen speciális dologról nem szól a TU, amely a szakmában ne lenne ismert, vagy ami az UME-ban ne szerepelhetne. Magyarországon területén a szakmában járatos gépekkel, anyagokkal, technológiákkal szinte minden útépitési feladat megépíthető és elvégezhető.

-Gépek, személyzet: Általános megfogalmazások jellemzők. Amennyiben például egy konkrét gép kerül kiírásra, például Caterpillar kotró, ha az elromlik és lecserélésre kerül például Liebherr kotróra, akkor KTU-t kell készítenünk? Van ennek jelentősége? Egy vezérgép (pl. finisher) esetén némileg lehet, de a minőség megfelelősége nem a TU-n fog múlni.

-Anyagok: a tervben, vagy fedvény tervben szereplő anyagok épülnek be. Egy szükséges anyagváltoztatás megfelelőségét az alkalmassági vizsgálatok fogják igazolni. Azt, hogy ezt még külön a TU-ban is dokumentálni kell, csak bürokratikus akadályokat jelent.

-Minőség: itt szintén az UME-ban, szabványokban előírtak alapján határoz meg követelményeket.

-Munkavédelem, Tűzvédelem, Környezetvédelem: Sajnos ez teljes egészében töltelék anyagnak tekinthető. Ezek a részek tulajdonképpen egyik dokumentumból a másikba kerülnek másolással. Ebben a dokumentumban végképp nem érik el céljukat. Ezt külön Munkavédelmi tűz és balesetvédelmi oktatásban szerezhetik meg a dolgozók, amennyiben az oktatás színvonala kielégítő.

-Elérhetőségek: Baleset, vagy bármilyen műszaki vita, kérdés esetén életszerűtlen, hogy valaha valaki a Technológiai Utasítás alapján nézte meg az elérhetőségeket.

#### Konklúzió

A javaslat itt is ugyanaz, mint az Anyagbemutató és a Próbaépítés esetében. Ezeket a Technológiai Utasításokat (a beépítés technológiai követelmény név szerencsésebb lenne, Például Ckt-4 alapréteg beépítés technológiai követelménye) az egyes rétegek szerinti UME-hoz, azok mellé kellene integrálni és ott mint egy technológiai követelményt kellene megadni. Ezt egy keret szabályozásnak

lehetne tekinteni. Aki ettől el kívánna térni, az ezt a keret technológiai követelmény kiegészítésével megtehetné. A vizsgált rétegek, szerkezet közül (Töltés, földmű felső, Ckt, aszfaltok, víztelenítések-árkok, szegélyek stb) egyik közül sincs olyan, melynek a technológiai követelményét ne lehetne az UME-on belül szabályozni. Ki kell mondani, hogy az esetek legnagyobb hányadában nem az adott hely, az adott időpont, illetve az adott gép típus számít. Az anyag típusára, valamint a beépítési fejelemre kellene helyezni a hangsúlyt.

Ezeket a keret dokumentumokat adott esetekben ki lehetne egészíteni Megrendelői/Mérnök kezdeményezésre, de mivel már az UME-ban lenne előírva a követelmény, azok a szabályozatlan minőségirányításoknál önmagukban is alkalmazhatók és megkövetelhetők lennének. Végül, de nem utolsó sorban befejeződhetne a felesleges és értelmetlen dokumentum gyártások bürokratikus rendszere.

#### Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv jellemzői

Mintavételi és Minősítési Terv (MMT): az a dokumentum, amelyet a Vállalkozó készít a Műszaki Követelmények betartásával, és amely azonosítható módon (megnevezés, építményszám, tételszám) tartalmazza az adott szerkezetre, rétegre vonatkozóan a megfelelőségigazolás módját, a mintavételek, az elvégzendő vizsgálatok és mérések megnevezését, módszerét, gyakoriságát, minősítendő (vonatkozási) mennyiségeit, továbbá tartalmazza az elvégzendő mintavételek, vizsgálatok és mérések darabszámát, az előírt értékeket, a megengedett tűréseket és a megfelelőség értékelésének módszerét (szabvány, előírás száma).

Szabályozott minőségirányítással rendelkező projektek esetében az MMT dokumentum elő van írva minden rétegre, szerkezeti elemre.

A TU-t és az MMT-t a Mérnök részére jóváhagyásra át kell adnia az építési munka megkezdése előtt. Ezen dokumentumok Mérnök általi jóváhagyása az adott Építményre/Szerkezetre vonatkozó munkakezdési engedély kiadásának egyik feltétele.

Szabályozatlan minőségirányítás mellett az MMT-t dokumentum általában nincs követelményként előírva. Ilyen munkáknál a jelenlegi gyakorlat szerint a kivitelezések jelentős része úgy zajlik el, hogy fontos minőségi ellenőrzés és dokumentálás nem történik.

A TU-hoz hasonlóan az MMT dokumentumot is egyre több esetben írják elő követelményként. Azonban a tapasztalatom és véleményem, itt is ugyanaz, mint a TU-nál volt, hogy ez elsősorban nem a minőségbiztosítás szempontjainak érvényesülése végett alakult ki, hanem szerződéses követelményeket elégíti ki. Pár sikeres laborméréssel abszolválják a feladatot.

Tartalmát, megfelelőségét gyakran nem ellenőrzi senki. Szerencsésebb esetben, ahol tapasztalt műszaki ellenőr került bevonásra, ott a dokumentumok tartalma, előírásai megfelelnek a vonatkozó követelményeknek és a mérések is valóban minőségellenőrzési célt szolgálnak.

A szabályozott minőségirányítással rendelkező projektek (jellemzően NIF-es munkák) esetében alkalmazott útépités jellegű, forgalomtechnikai jellegű, vízvezetési jellegű (Vízépítési és vízi közmű feladatok) MMT-k az alábbiakban kerül összefoglalásra:

Az útépités jellegű MMT-k: Töltés MMT, Javító réteg MMT, Fagyvédő réteg MMT, Padka MMT, Talajstabilizáció



MMT, Ckt alapréteg MMT, Aszfalt rétegek MMT,  
Forgalomtechnikai MMT-k: Közúti táblák-jelzőoszlopok  
MMT, Vezetőkorlát MMT, Burkolatjel festés MMT  
Vízvezetéshez kapcsolódó MMT-k: Csőáteresz MMT,  
Burkolt árok-folyóka MMT, Kereszt és hossz csatornák  
MMT, Rézsúrsurrantó MMT

#### Konklúzió

Az MMT-k tekintetében összességében elmondható, hogy legszakmaibb, legjobban felépített könnyen áttekinthető, mindenki számára értelmezhető dokumentumokról van szó. Az MMT tekinthető minőségbiztosítási szempontból a „leghasznosabb” dokumentumnak.

Az alábbi két táblázat mintaként kerül bemutatásra. Az MMT-k fagyvédő rétege készülték, két különböző projekt

esetében. A két MMT mintán látható, hogy az előírt követelmények mindenhol egységesen megjelennek. Ez természetes, mivel mindegyik az UME-ok, illetve NIF-es munka révén a NIF által előírt III-as kötetet veszik figyelembe. A NIF III-as kötete az UME-ra és az MSZ-re épül. Ezt az összefüggést alapul véve egyértelműen következik az a javaslat, hogy az előbbiekhöz hasonlóan az MMT-k előírásai, formai keretei kerüljenek be az UME szabályozási körébe. Ennek műszaki értelemben semmilyen akadálya nincs. Minden korábban tárgyalt réteg esetében ez teljes mértékben megvalósítható lenne. Mind a szabályozott, mind a szabályozatlan minőségirányítással rendelkező projektek-nél egységes rendszer alapján (útkategóriák és a tervezési paraméterek szerint) lehetne kezelni az elvárt követelményeket.

Sorszám	Vizsgálat				Vizsgálandó mennyiség	Elvégzendő vizsgálat száma	Előírt érték	Megengedett tűrés	Megfelelőség értékelés módja	
	Megnevezés	Módszere	Gyakorisága	Jelle						Végzője
<b>1. Földmű felső 50 cm felső 20 cm-es fagyvédő réteg</b>										
1.1	Feltárás és mintavétel geotechnikai vizsgálatokhoz (zavart minta)	MSZ 4488:1976	1db/2000 m <sup>2</sup>	A	L	25818 m <sup>2</sup>	13 db	-	-	Műszaki Előírás III. kötet 200000 3.4 táblázat
1.2	Talajmechanikai vizsgálatok: Szemeloszlás meghatározása	MSZ 14043-3:1979	1db/2000 m <sup>2</sup>	A	L	25818 m <sup>2</sup>	13 db	Cu ≥ 6 S <sub>0,063</sub> ≤ 15%	*	
1.3	Szervesanyag-tartalom meghatározása	MSZ 14043-9:1982	1db/5000 m <sup>2</sup>	A	L	25818 m <sup>2</sup>	6 db	l <sub>om</sub> ≤ 3%	-	
1.4	Talajok tömöríthetőségének és tömörségének vizsgálata	MSZ 14043-7:1981	1db/2000 m <sup>2</sup>	A	L	25818 m <sup>2</sup>	13 db	p <sub>dmax</sub> ≥ 1,75 g/cm <sup>3</sup>	-	
1.5	Talajok tömörségi vizsgálata radiometria eljárással	e-ÚT 09.02.11 ÚT 2-3.103:1998	1db/50 m <sup>****</sup>	M	L	6498 m	130 db	Tr <sub>g</sub> ≥ 96 %	-2 % *	
1.6	Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata, Törés vizsgálat	MSZ 2509-3:1989	1db/50 m <sup>****</sup>	M	L	6498 m	130 db	E <sub>2</sub> ≥ 70 MPa T <sub>t</sub> ≤ 2,0	-5 Mpa *	
1.7	Alakhűség vizsgálatok									
1.7.1	Szintmagasság	Mérnökgeodéziai szabályzat szerint	3 db/ keresztmetszvény	M	G	6498 m	3x259 db	terv szerint	± 30 mm	Műszaki Előírás III. kötet 200000 3.4 táblázat
1.7.2	Szélesség	Mérnökgeodéziai szabályzat szerint	1 db/ keresztmetszvény	M	G	6498 m	259 db	terv szerint	+ 150 mm - 50 mm	
1.7.3	Réteg vastagsága***	Mérnökgeodéziai szabályzat szerint	3 db/ keresztmetszvény	M	G	6498 m	3x259 db	20 cm	± 30 mm	

Sorszám	Vizsgálat, illetve mérés	Módszere	Gyakorisága	Jell.	Végzője	Vizsg. Mennyiség	Elvégzett vizsgálat száma	Előírt érték	Megengedett tűrés	Minősítés
<b>7. Földmű Felső 60 cm Felső 30 cm -védő réteg -FF60F30</b>										
7.1	Szemeloszlás	MSZ 14043-3:1979	1db/2000 m <sup>3</sup>	A	VL	35366 m <sup>3</sup>	18 db	M1		Műszaki Előírás
7.2	Konzisztencia határok (index)	MSZ 14043-4:1980	1db/2000 m <sup>3</sup>	A	VL	35366 m <sup>3</sup>	18 db			Műszaki Előírás
7.3	Tömöríthetőség	MSZ 14043-7:1981	1db/2000 m <sup>3</sup>	A	VL	35366 m <sup>3</sup>	18 db	p <sub>max</sub> ≥ 1,85 g/cm <sup>3</sup>		Műszaki Előírás
7.4	Szervesanyag tartalom	MSZ 14043-9:1982	1db/5000 m <sup>3</sup>	A	VL	35366 m <sup>3</sup>	7 db	l <sub>szemcsés</sub> ≤ 3%		Műszaki Előírás
7.5	Tömörségmérés	e-ÚT 09.02.11 [ÚT 2-3.103]	1db/50m/ forg.sáv -eltolva	M	VL	9823 m	196 db	Tr <sub>g</sub> ≥ 96 %	-2%*	Műszaki Előírás
7.6	Teherbírásmérés	MSZ 2509-3:1989	1db/50m/ forg.sáv -eltolva	M	VL	9823 m	196 db	E <sub>2</sub> ≥ 70 N/mm <sup>2</sup> , T <sub>t</sub> ≤ 2,0	-5 N/mm <sup>2</sup> *	Műszaki Előírás
<b>ALAKHŰSÉG</b>										
7.7	Szintmagasság	Mérnök Geodéziai Szabályzat	keresztmetszvényenként min. 3 mérés	M	V	9823 m	574 db	Terv szerint	± 20 mm	Műszaki Előírás
7.8	Szélesség	Mérnök Geodéziai Szabályzat	keresztmetszvényenként min. 1 mérés	M	H	9823 m	491 db	Terv szerint	+ 150 mm - 50 mm	Műszaki Előírás
7.9	Vastagság	Mérnök Geodéziai Szabályzat	keresztmetszvényenként min. 1 mérés	M	V	9823 m	491 db	Terv szerint	± 20 mm	Műszaki Előírás

Példák fagyvédő réteg MMT-re (részlet)

### Minősítési dokumentáció

Minősítési Dokumentáció (Megfelelőségigazolási Dokumentáció): a Műszaki Követelményeknek megfelelően, azok betartásával és a Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv szerinti dokumentumok, elvégzett mérések, vizsgálatok alapján készített dokumentáció, amellyel a Vállalkozó a Szerződésnek való megfelelést igazolja. A megvalósulási dokumentáció alatt a minősítési dokumentációk és a megvalósulási tervek összességét kell értenünk.

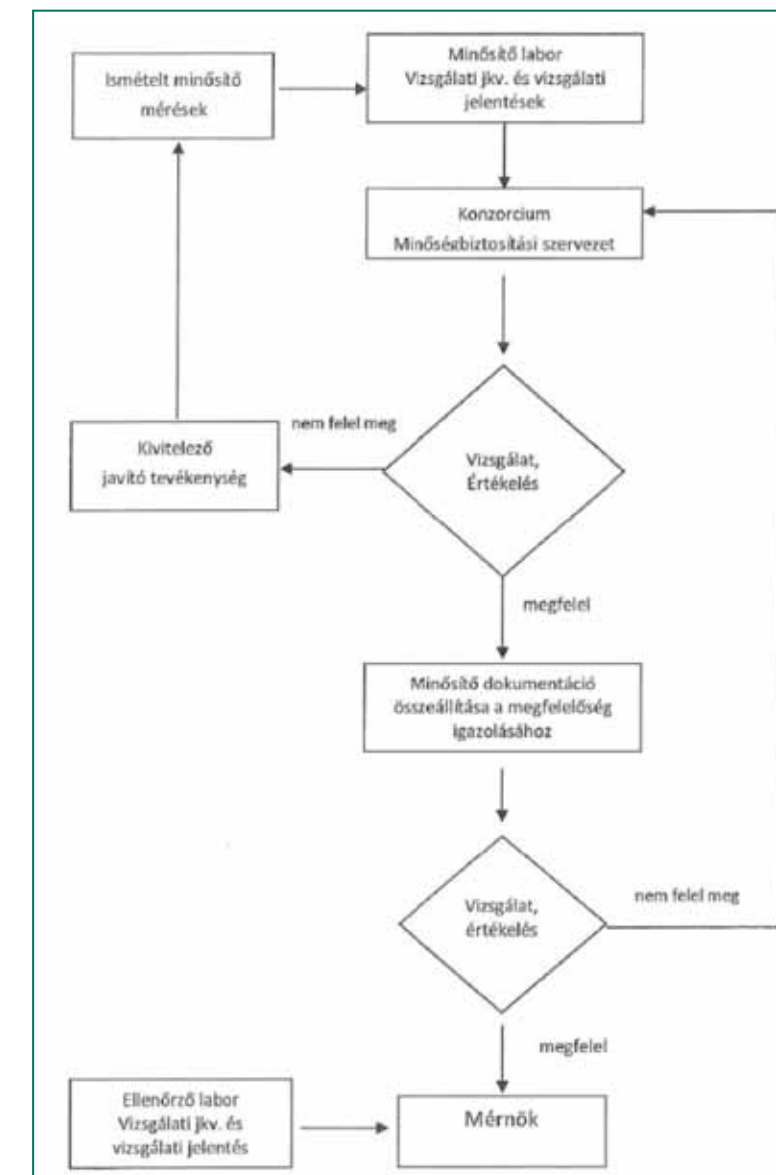
Szabályozott minőségirányítás esetén az alábbiak mondhatók el a minősítési dokumentációval kapcsolatban.

A kivitelezési munka befejezése után az MMT alapján lehet ellenőrizni, hogy az építmény minősítési dokumentációja valamennyi szükséges minősítő iratot, vizsgálati jegyzőkönyvet stb. hiánytalanul tartalmaz-e. A műszaki átadás-átvételi eljárás megkezdésének feltétele, hogy az eljárás kezdetét megelőzően a Mérnök megkapja a minősítési dokumentáció kiegészítését és a megvalósulási terveket. A

minősítési dokumentáció egyes fejezeteit a tartalomjegyzék szerint jól látható módon fülekkel el kell választani, és arra kell ráírni a fejezet számát és címét.

Szabályozatlan minőségirányítás esetén gyakran semmilyen minősítési dokumentáció nem készül. A megépített rétegek, a felhasznált anyagok röviddel a kivitelezést követő időben a felejtés homályába kerülnek. Esetenként kerülnek leadásra anyagok, de azok olyan formában, hogy a kivitelezés alatt összegyűjtött teljesítmény nyilatkozatok, szállítók, esetleg valamilyen vizsgálati jegyzőkönyvek ömlesztett halmaza kerül a megrendelőhöz, aki érdemben semmit nem tud kezdeni vele.

A javaslat itt is ugyanaz, mint a korábbi minőségbiztosítási dokumentumoknál volt. A szakma adjon keretet a minősítési dokumentáció formai és tartalmi követelményeire és integráljuk az UME-ok előírás rendszerébe. Minden esetben egy egységesített főösszesítő összegezzék a tartalmat! Ez jelenleg nincs egységesítve, ez a szabályozott minőség irányítás esetén is tapasztalható.



Minősítési dokumentáció kezelésének folyamatábrája



## Összefoglaló gondolatok a javasolt dokumentumokról

A jelenlegi minőségirányítási gyakorlattal szemben egy jobb és rugalmasabb megoldási lehetőség lenne a bürokráciától mentes, nyers műszaki követelményekre épített, legfontosabb alapidokumentumok (AB, PB, TU, MMT és végül a munka lezárásakor a MD) UME-hoz való integrálása.

A tervezési alapadatok és paraméterek ismeretében, egy-egy szerkezeti rétegre vonatkozó minőségbiztosítási követelmény teljes mértékben meghatározható lenne az UME-on belül, vagy egy azok mellé rendelt dokumentummal. A jelenlegi gyakorlatban létrehozott minőségbiztosítási dokumentumok is az UME-ok összefüggéseire épülnek.

Az alternatív javaslat tulajdonképpen egy-egy rétegre vonatkoztatott dokumentumok létrehozása.

Az adott réteg/szerkezet anyaga, beépítési technológiája, mintavétele, majd ezek összefoglaló dokumentálása rendezett, kifejezetten csak műszaki követelményekre szorító dokumentum lenne.

Nézzünk egy rövid, egyszerű példát:

Tervezett út megnevezése: PÉLDA utca  
Tervezési osztály: B.VI.c  
Környezeti körülmény: D  
Tervezési sebesség: 30 km/h  
Forgalmi terhelési osztály: „A” terhelési osztály  
Tervezett pályaszerkezet: 5 cm AC 11 kopó, 15 cm Ckt-4, 20 cm Homokos kavics fagyvédő réteg.

A fentivel megegyező, vagy hasonló rétegrenddel megszámlálhatatlanul sokszor találkozunk a hazai útépitési, felújítási munkák során.

Ahogy a cikk eleje taglalta, a szabályozatlan minőségirányítás során a fenti szerkezet beépítéséről nem készül különösebb érdemi dokumentálás, míg egy szabályozott minőségirányítási projekten több tíz, de akár százoldalon keresztül lesz papírba öntve a feladat. A kívánt célt egyik sem éri el.

Az alternatív javaslat alap gondolata alapján, UME-hoz rendelt minőségbiztosítási dokumentumoknál a fenti szerkezet esetében a tervezési alapadatok, a rétegvastagság, hossz/felület mátrixa alapján megkaphatnánk például a 20 cm vastag homokos kavics beépítéstechnológiai előírásait és a vizsgálandó labor, stb. követelményeket.

Felmerül még a kérdés, hogy a mai kor informatikai lehetőségei mellett a hazai útépités minősítési gyakorlatára miért jellemző még ilyen mértékben a bürokrácia, vagy annak ellenkezője, esetenként akár a minimális alapkövetelmények ismeretének teljes hiánya.

Tovább gondolva a TU-k, MMT-k lehetőségeit, létrehozható lenne az e-TU, e-MMT stb. rendszere.

Az informatikai kalkulátorok példájára input adatokat megadva (tervezési alapadatok, paraméterek, a pályaszerkezet paraméterei stb.), az előírt alap követelményeket már maga a rendszer generálhatná.

Vagyis egy adott internetes felületen (Például MAÚT, vagy KÖZÚT felületen), egy adott rendszeren (mint például egy e-Napló rendszer) belül, az alapadatok bevitele után előállna a kívánt minőségbiztosítási dokumentum/követelmény az adott rétegre vonatkozóan.

A mai informatikai fejlettség mellett ez egy teljesen működő rendszer lehetne, de akár már elvárásként is tekintetnénk rá.

A jelenleg alkalmazott, túl tudományos és bürokratikus minőségbiztosítási gondolkodás nem jut el a termelő szintre, a minőségbiztosítási hatása elenyésző. Ne tudományosítsuk és bürokratizáljuk túl a nyers kivitelezést! A nagy bonyolult építkezések sok egyszerű munkafolyamatokból épülnek fel. Ezeket az egyszerű munkafolyamatokat kell egyszerű jól érthető műszaki szabályozással megoldani. Arra az egyszerű megállapításra lehet jutni, hogy hiába dokumentáltunk és hoztunk létre nagy terjedelmű, bonyolult és hosszú dokumentumokat, azok eredményessége a minőség javulásban nem mutatkozott meg az elmúlt 15 évben.

Olyan dokumentumokat és rendszert kell létrehozni, amelyek mindenki számára elérhetők, érthetőek, netán megtanulhatók, vagy betanulhatók.

Kevesebb bürokráciát, több gyakorlatot! Ez volt az alap gondolat.

## A vágánygeometriai mérővonalak által szolgáltatott adatok alkalmazhatóságának vizsgálata az ívszabályozás kitűzési adatainak meghatározására

Rédling Péter



vasútfejlesztési projektmenedzser  
Budapest Fejlesztési Központ

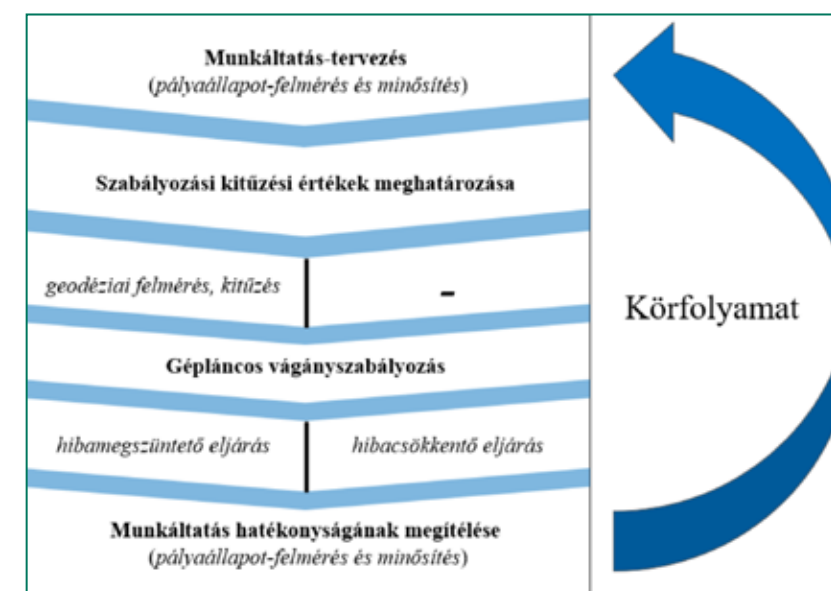
avulási folyamatot, így növelve a pálya szerkezeti elemeinek élettartamát. A hazai pályafenntartási gyakorlatban elkülönül egymástól a vágánygeometria diagnosztikai célú mérése és a vágányszabályozások előkészítéséhez szükséges kitűzési értékek meghatározása. Külföldi példa bizonyítja, hogy a szabályozási kitűzési értékek meghatározhatók a mérővonal felmérések és abszolút értelmű földrajzi pozícióadatok (fix-pont rendszer) együttes felhasználásával. A hazai alkalmazáshoz azonban részletesen vizsgálni kell a mérővonalak és szabályozógépek (gépláncok) műszaki jellemzőit, mérési (valamint a szabályozógépek kiegyenlítő) módszereit és a helyazonosítás problémakörét is. A diplomamunkámban célul tűztem ki a mérővonal adatok felhasználhatóságának vizsgálatát.

### 1. Bevezetés

A vasúti pályafenntartás egy összehangolt intézkedés-rendszer, melynek célja a vasúti pálya előírás szerű geometriai és szerkezeti állapotának folyamatos biztosítása, a fellépő rendellenességek időben történő felismerése és a szükséges beavatkozások elvégzése. A pályafenntartás egyik fontos munkarésze a vágányszabályozás, mely a vasúti vágány fekvésgeometriai hibáinak javításával lassítja a természetes

### 2. Szakirodalmi háttér

A gépláncos vágányszabályozás munkafolyamata (1. ábra) a pályaállapot-felméréssel és minősítéssel kezdődik, melyhez felhasználják a vonalbeutazások és a gyalogos szemrevételezések tapasztalatait, valamint elemzik a mérővonalak által szolgáltatott adatokat.



1. ábra A gépláncos vágányszabályozás munkafolyamata



A beavatkozás helyének meghatározása után a szabályozási munka előkészítéséhez a vágánygeometriát hazánkban kézi módszerekkel mérik fel: a vágány magassági értelemben vett helyzetét (azaz a fekszintet) jellemzően szintezés-szel, míg a vágány vízszintes síkban értelmezett helyzetét (azaz az irányt) ívekben jellemzően kézi húrméréssel.

Szintezéskor egymástól 70-80 m-re lévő magaspontokat jelölnek ki, ezekre állítják fel a szintezőműszert, majd leolvassák a köztes pontokban szükséges emelési értékeket. Amennyiben negatív érték adódna, újra kell kezdeni az adott szakaszon a szintezést, mert a vágány süllyesztése csak igen jelentős többletmunka elvégzésével lehetséges.

A kézi húrmérés az ún. érintőszög-eljárás alkalmazásához szükséges, amely során egyszeresen egymásba kapcsolódó ívmagasságmérést végeznek egy előre beszelvényezett, egymástól „Δl” távolságra lévő osztáspontokkal ellátott pályán 2 „Δl” húrhosszal. A 2 „Δl” húrhossz jellemzően 20 m (kivéve kissugarú ívekben), tehát 10 m-ként leolvassák a húr és a sínfej belső éle közötti távolságot (azaz az ívmagasságot). A leolvasott ívmagasságértékek alapján egy hazai fejlesztésű ívkalkulációs programmal kiszámítják, hogy az adott osztáspontokban mekkora eltolási értékek szükségesek a megfelelő vágánygeometria helyreállításához. Az e (vagy egyéb erre alkalmas) módszer alapján kitűzött vágány szabályozását hibamegszűntető eljárásnak nevezzük. Előfordul azonban, hogy a vágány szabályozás előtt nem mérik fel a vágány fekvésgeometriáját, ilyenkor a szabályozógépekre hagyatkoznak és elfogadják, hogy a hibák nem szüntethetők meg teljes mértékben (ezt nevezük hibacsökkentő eljárásnak).

A vágány szabályozást előkészítő munkák előzik meg (pl.: útátjárók felbontása, vízszákok eltávolítása, csavarok utánhúzása stb.), a vágány szabályozás pedig a jelenlegi gyakorlat szerint jellemzően gépláncos technológiával

történik. A gépláncban három különböző típusú gép egy meghatározott sorrend szerint végez munkát. Az első gép a vágány emelését és eltolását, valamint a keresztaljak alatti zúzottkő tömörítését végzi. A második gép feladata az ágyazatrendeziés, azaz a kívánt ágyazati profil kialakítása. Az utolsó gép feladata pedig a keresztaljak közötti ágyazati anyag, illetve az ágyazatszél tömörítése. Tapasztalatszerzés céljából a MÁV FKG Kft. összes géplánc típusának működését megfigyeltem munkavégzés közben, illetve konzultáltam a gépkezelőkkel is. A szabályozógépekre telepített magyar szoftver működésének megismeréséhez felkerestem a szoftver fejlesztőjét. A tapasztalataim és a szakirodalom alapján készítettem egy összehasonlító táblázatot a MÁV FKG Kft. által jelenleg üzemeltetett vágány szabályozó gépekről (1. táblázat).

A vágány szabályozás után történik a munkáltatás hatékonyságának megítélése, melyhez a munkáltatást követő mérővonal adatokat használják fel. A munkáltatás hatékonyságának megítéléséhez felhasználhatók a vágány szabályozó gépek ellenőrző mérései is, azonban fontos megjegyezni, hogy e gépek a géplánc első gépegységei, tehát a mérés után további két gépegység végez még munkát. A vágány szabályozás hatékonyságát rengeteg tényező befolyásolja. A vágány szabályozás előkészítéséhez szükséges vágány-geometria felmérése és a kitűzési értékek számítása nagyfokú precizitást igényelnek, kisebb hanyagság vagy figyelmetlenség is a munka minőségének rovására megy. A vágánygeometria felmérését jellemzően forgalom alatt lévő vágányokban végzik, mely jelentősen megnehezíti a munkavégzést, illetve a gépkezelők is véhetnek hibákat, hiszen az éjszakai munkavégzés, az aljakra felírt kitűzési értékek rosszul láthatósága és a munkafegyelem szintén befolyásolja a munkáltatás végeredményét.

1. táblázat A MÁV FKG Kft. vágány szabályozó gépeinek összehasonlítása

Szempontok	Géptípus			
	08-16	08-32	09-16	09-3X
Egyszerre alávert aljak száma	1 alj	2 alj	1 alj	3 alj
Munkavégzés folytonossága	szakaszos	szakaszos	folyamatos	folyamatos
Teljesítmény	500 vm/h	850 vm/h	800 vm/h	2200 vm/h
Gyártási év	1985 - 1991	1988	1993	2017
Automatizáltság	utólagosan, minimálisan automatizált	minimálisan automatizált	részben automatizált	magasfokú
Szociális szempontok	korszerűtlen	korszerűtlen	részben kielégíti a mai követelményeket	teljesen kielégíti a mai követelményeket
Szoftver	magyar fejlesztés	magyar fejlesztés	magyar fejlesztés	Plasser & Theurer cég saját szoftvere

### 3. Munkáltatás hatékonyságának vizsgálata

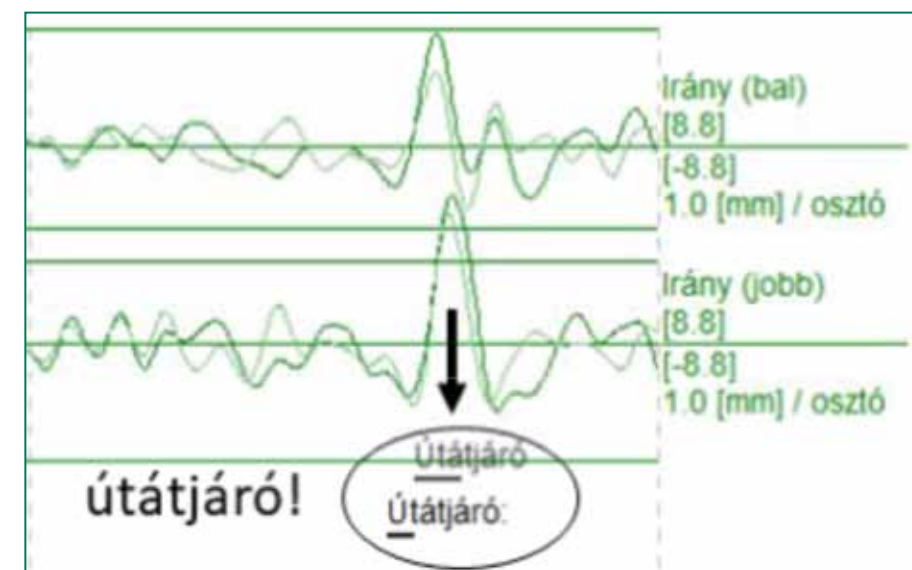
A diplomamunkámban különböző típusú karbantartási munkák (pl.: vágány szabályozás, síncsere, felépítménycsere, alépítménycsere) hatékonyságát vizsgáltam



2. ábra Veszprém - Ajka vonalszakaszon kiválasztott pályaív

A karbantartási munkák hatékonyságának vizsgálata után egy kiválasztott pályaíven végzett vágány szabályozás hatását vizsgáltam részletesebben a lokális hibák minősítése alapján. A vizsgálat során észrevettem, hogy a munkáltatást követően egy szelvényben az irányhiba értéke nőtt, azaz egy pontban a vízszintes sík értelemben romlott a pálya állapota (a 3. ábrán halványabb grafikonon jelöli a munkáltatás előtti, a sötétebb grafikonon a munkáltatás utáni mérővonalati mérési eredményeket). Ez azzal magyarázható, hogy a vizsgált 676+45 szelvényben egy BODAN rendszerű útátjáró található, melynek vasalt záróköveit a vágány szabályozást megelőzően nem távolítják el, így az útátjáró hosszában a pálya irány szabályozása nem lehetséges. A vágány szabályozást megelőzően az eltolási értékek számításakor kezelhető ez a probléma (az útátjárót kötött pontként kell kezelni), azonban a kiválasztott példában ezt a módszert helytelenül hajtották végre, emiatt fordulhatott elő az irányhiba növekedése a vizsgált szelvényben.

gált 676+45 szelvényben egy BODAN rendszerű útátjáró található, melynek vasalt záróköveit a vágány szabályozást megelőzően nem távolítják el, így az útátjáró hosszában a pálya irány szabályozása nem lehetséges. A vágány szabályozást megelőzően az eltolási értékek számításakor kezelhető ez a probléma (az útátjárót kötött pontként kell kezelni), azonban a kiválasztott példában ezt a módszert helytelenül hajtották végre, emiatt fordulhatott elő az irányhiba növekedése a vizsgált szelvényben.



3. ábra Irány paraméter növekedése a vágány szabályozást követően az útátjáró szelvényben



#### 4. Ívek szabályozási kitzési értékeinek meghatározása

A hatékonyságvizsgálatot követően a céloom a kiválasztott pályáivben számolt eltolási értékek rekonstruálása volt a vágányszabályozást megelőző mérővonalati adatok alapján. Összehasonlításképp rendelkezésemre állt az ívkalkulációs lap, mely alapján a vágányszabályozást ténylegesen elvégezték. A jelenleg is alkalmazott, hazai fejlesztésű szoftver az érintőszög-eljárás alapul, azonban túl nagy eltolási értékek esetén ún. ívmagasság-kiegyenlítő eljárást alkalmaz. E módszer lényege, hogy az egy menetben végrehajtható gépi vágányszabályozás érdekében minimalizálva vannak az eltolási értékek, azonban az eredeti körív helyett így egy folytonos kosárv-halmazt kapunk vissza eredményül. Ahogy az a fenti példában (3. ábra) is látható, a szabályozás végeredményét az alkalmazott ívkalkulációs módszerrel túl a kötött pontok megfelelő figyelembe vétele is jelentősen befolyásolja.

A mérővonalati adatok nem használhatók fel közvetlenül a számításhoz, először a mérés torzításmentessé tétele

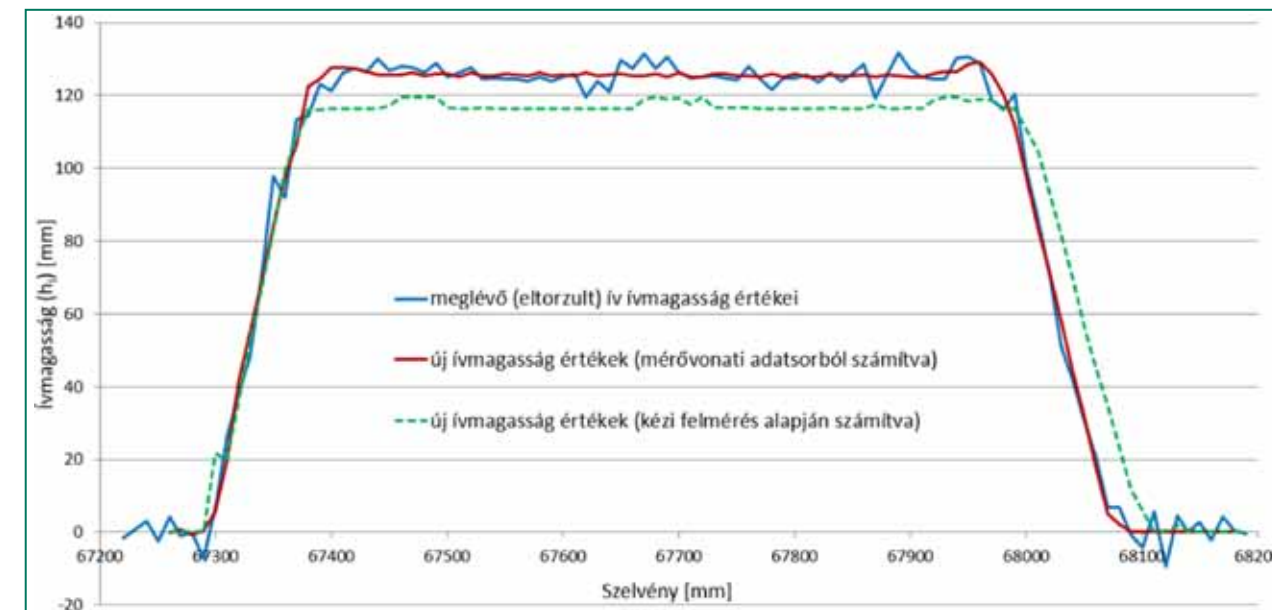
szükséges, egy ún. dekonvolúciós eljárás alkalmazásával. A dekonvolúcióval előállított pályafüggvény felhasználásával bármilyen virtuális húr hosszra átszámíthatók a mérővonalati adatok. A rendelkezésemre álló kézi felméréssel való összehasonlíthatóság miatt az adatsort 20 m hosszú szimmetrikus húrra számítottam át. Az átszámított adatsort ábrázolva észrevettem, hogy a két adatsor jellege megegyezik egymással, azonban a szelvényezésben fokozatos eltolódás figyelhető meg, ill. a kézi felméréskor mért ívmagasság értékek kisebbek a mérővonalati adatokból átszámított értékeknél. Amennyiben azt feltételezzük, hogy a tényleges kézi felmérés során nem jelölték fel előre a mérési pontokat és csak 19,4 m hosszú húr alkalmaztak, majd a 9,7 m távolsággal vett mérési pontokat vesszük alapul, a szelvényezésben tapasztalt fokozatos eltolódás megszűnik. Ezzel az ívmagasság értékek még változatlanok maradnak, azonban ha ezeket egy konstanssal megszorozzuk, azaz a helytelenül mért ívmagasság értékeket transzformáljuk, a két görbe nagyon hasonló jelleget fog mutatni (4. ábra). Mivel a mérővonalat 25 cm-ként regisztrálja az ívmagasság értékeket, a kézi mérés pedig elméletileg 10 m-ként, a két adatsor tökéletesen sohasem fogja lefedni egymást.



4. ábra Kézi és mérővonalati adatsorból számított ívmagasság értékek összehasonlítása

Először a szabályos körív helyreállítása volt a céloom, ezért az eltolási értékek számításához az érintőszög-eljárást vettem alapul. Az így kapott eltolási értékek azonban egy nagyságrenddel nagyobbak lettek az elfogadhatónál, ami azzal magyarázható, hogy a körív túlságosan torz. Ezt követően a céloom a körív torzultságának csökkentése volt

a vágányszabályozó gépek által egy menetben is végrehajtható maximális eltolási értékekkel. Ezt úgy értem el, hogy a tiszta ív érintőszög-függvényét nem lineárisnak, hanem másodfokú függvénynek vettem fel. Az ily módon kiigazított ív azonban nem lenne szabályos körív, de a torzult mértéke csökkenne (5. ábra).



5. ábra A mérővonalati adatsorból és a kézi hűrmérésből számított ívmagasság

#### 5. Összefoglalás

Összegezve az általam tapasztaltakat, a mérővonalatok iránymérési adataiból meghatározhatók az ívszabályozáshoz szükséges eltolási értékek. A mérővonalati mérési adatok általános alkalmazása a vágányszabályozások előkészítésében azonban jóval szélesebb körű vizsgálatot igényel, szükséges az irányszabályozás és a fekszintszabályozás előkészítésének teljeskörű vizsgálata is. Az irányszabályozás előkészítésekor a kötött pontok (pl.: útátjárókhoz, alagutakhoz, hidakhoz való csatlakozás) figyelembevétele jelenthet nehézséget, míg fekszintszabályozáskor a szabályozógépek nem képesek a vágányt süllyeszteni, sőt, néhány milliméter nagyságú alapemeléssel dolgoznak. A fekszintszabályozás előkészítésekor a kézi és gépi mérések összehasonlítása esetén figyelembe kell venni a terhelt és terheletlen mérések közötti különbségeket is.



6. ábra Felsővezeték-tartó oszlopon bemért fix-pont és a leolvasandó QR-kód

Kiküszöbölendő továbbá a helyazonosítás problémája is. A helyazonosítás megfeleltetésére a mérővonalatokon elhelyezett úradó és GPS jeladó szolgál, azonban egyik sem biztosít nagyfokú pontosságot, így a rendszer nem automatizálható és nagy az irodai utómunka igénye.

A módszer alkalmazásának munkaszervezési vonatát is figyelembe kell venni, hiszen a mérővonalatok mérési ütemtervét és a vágányszabályozó gépek munkáltatási ütemtervét össze kell hangolni egymással.

#### 6. További kutatási lehetőség

Külföldön már létezik olyan rendszer, amivel automatizálható a vágányszabályozás és mindig az abszolút (kiviteli tervek szerinti) vágánygeometria helyreállítható. Ehhez szükség van a pálya mentén egymástól 50-150 m-re telepített geodéziai előre bemért, ún. fix-pontokra. A mérővonalat leolvassa a fix-pontok adatait egy QR-kód segítségével (6. ábra), majd kiszámítja az abszolút vágánygeometriához szükséges eltolási értékeket, melyeket felhő-alapú szolgáltatás segítségével továbbítja a vágányszabályozó gép részére, amely ez alapján elvégzi a szabályozást.

Hazánkban is megvalósítható a külföldi rendszer, ugyanis korszerű mérővonalat és vágányszabályozó gép is rendelkezésre állnak, melyek alkalmasak a külföldi példához hasonló automatizált munkavégzésre. A módszer alkalmazásához azonban mindenképp szükséges a fix-pontok kiépítése (elsősorban új építésű és átépített pályákon, valamint fővonalakon), illetve a mérővonalat mérési és a vágányszabályozó gép munkáltatási ütemtervének összehangolása.



# Közúti vasúti kitérők és vágánykapcsolatok járműfutástechnikai vizsgálata a kocsiszekrényen rögzített okostelefonok szenzoradatainak alkalmazásával (kivonat)

**Gonda Evelyn**

Budapesti  
Műszaki és Gazdaságtudományi  
Egyetem  
Építőmérnöki Kar  
BSc hallgató



## Bevezetés

A közúti vasúti kitérők elhasználódása a szerkezeti kialakításukból adódóan üzemszerű, természetes jelenség. A kitérők élettartamának növelése és a kielégítő utazási komfort biztosíthatósága érdekében a pálya-jármű rendszer többlet-igénybevételeinek minimalizálása szükséges. Az utazási komfort szempontjából mértékadó pályatervezési paraméterek határértékei ( $a_0$ , kiegyenlített szabad oldalgyorsulás és  $h$  oldalgyorsulás-változás) a jelenlegi szabályozásban azonban nincsenek alátámasztva a mérésel meghatározott járműreakció statisztikai vizsgálatával.

A célom, hogy a kitérők eltérítő ágán és a hozzájuk csatlakozó pályáveken járműáthaladáskor tapasztalható keresztirányú mozgásgeometriai jellemzők ( $a_0$ ,  $h$ ) tényleges meghatározására kerüljenek gyorsulásmérésre alkalmas okostelefonokkal. A jármű kinematikai mozgásjellemzőinek mérésére egy telefonos applikációt fejlesztettünk, amely alkalmas a készülék összes szenzoradatainak és a GPS helyadatoknak az időalapú szinkronizált rögzítésére.

A szolgáltatott adatok validálása során a telefon gyorsulás-, szögsebesség adatainak valós fizikai tartalmát ellenőriztem ismert szöghelyzet, elfordulás és pozíció esetén. Az elvégzett kalibrációs tesztek minden vizsgált szenzoradat (gyorsulásmérő, giroszkóp) esetén nagy pontossággal visszaadták a fizikából jól ismert alap törvényszerűségeket.

A Budapesten üzemeltetett közúti vasúti járművek közül a CAF Urbos3 típusú modern villamosok futási tulajdonságait vizsgáltam kiváló műszaki állapotú „Ph” rendszerű (vályús sín) kitérőkön való áthaladás esetén. A vizsgált kitérők eltérítő ágán és a csatlakozó pályáveken való áthaladáskor jellemző járműreakció vizsgálata előtt meghatároztam a 3 és az 5 modulós CAF járművek mozgásérzékelő hosszát és keresztirányú utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszetét, mely ismeretében a kitérőméréseket már csak a mértékadó járműkeresztmetszetben végeztem el. Jelen kivonatban az alábbi vizsgálatokat és összevetéseket mutatom be:

- Keresztirányú utazási komfort megítélése a kocsiszekrényen mért oldalgyorsulás és egy 3 tengelyű giroszkóp szögsebesség adatai alapján;
- Mért és a közelítő képletekkel becsült oldalgyorsulás adatok összevetése;
- Az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál fellépő dinamikus oldalgyorsulás-változás összevetése a szabványokban meghatározott kvázi-statikussághatárértékekkel;
- A rögzített gyorsulás jelalak kiugró értékeinek és jellegzetességeinek vizsgálata különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők esetén.

## 1. A kinematikai mozgásjellemzőkre vonatkozó hatályos hazai, uniós és külföldi előírások közúti vasúti alkalmazásának korlátai [1][2][3][4]

A pályatervezési előírásokat tekintve a megkívánt tervezési sebességhez tartozó átmeneti ív és minimális ívsugar paraméterek megadása a kvázi-statikussághatárértékétől függ. Közúti vasúton, a járművön álló utasok esetén is törekedni kell a legjobb utazási komfort biztosítására. Ezen feltételből a minél szigorúbb, kisebb  $h$ -vektor érték következik. Ha túl szigorú a  $h$ -vektor értéke, akkor nagy átmeneti ívhosszakat kell betervezni. Ez közúti vasúton nem minden esetben fér el a kötöttségek és a rendelkezésre álló szűk hely miatt. Ilyenkor a tervezési sebesség csökkentése mellett dönthetnek a tervezők (ami utazási komfort szempontjából nem javasolt), vagy felmentést kérhetnek a hatóságtól.

A hazai közúti vasúti pályatervezési előírásokban (Országos Vasúti Szabályzat „OVSZ”, BKV Zrt. pályatervezési és pályafelügyeleti előírásait összefoglaló kötet, az ún. „Sárga könyv”) ugyan van határérték a kinematikai mozgásjellemzőkre, azonban ezek nem határozzák meg azok

pontos mérési körülményeit és az adatfeldolgozási módszereket sem.

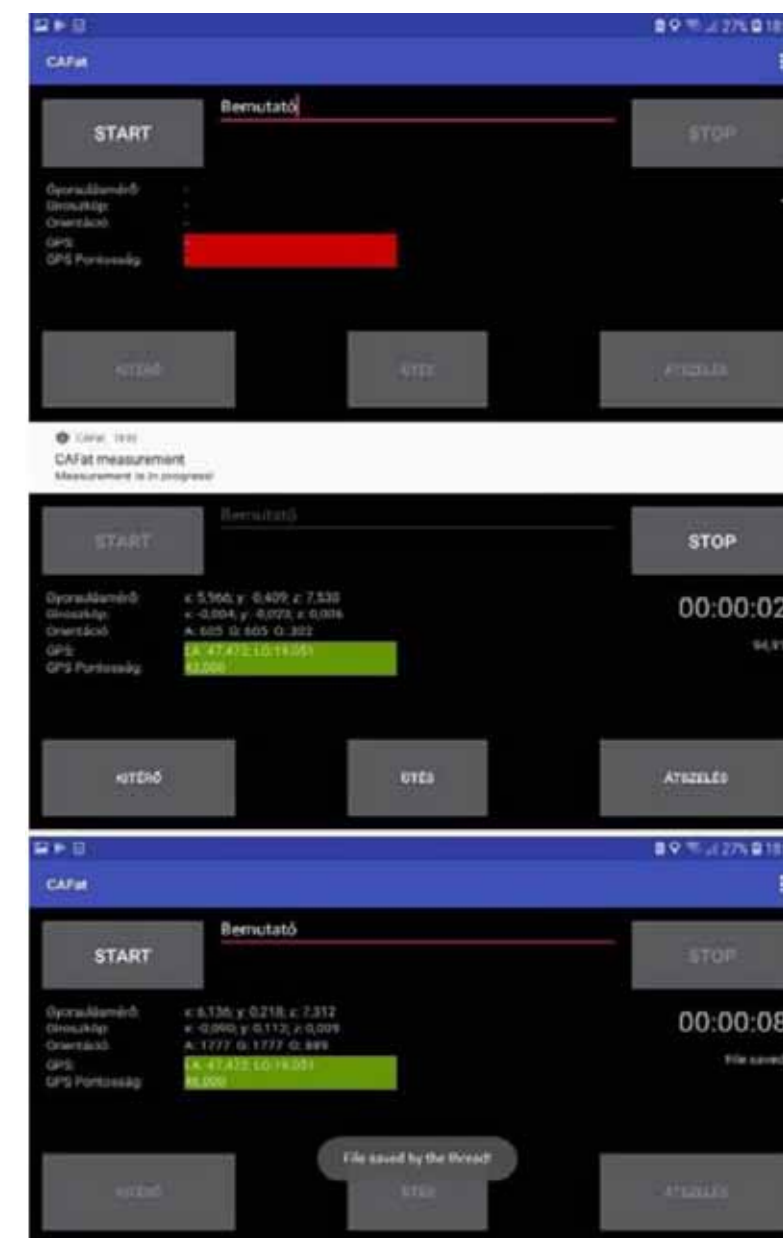
Az EN 12299:2009 szabványt azonban fontos megemlíteni, hiszen itt tisztázott a mérés folyamata, helye és a kiértékelés módja is. A szabvány kitér a jármű mértékadó keresztmetszetének meghatározási módszerére és a mérés magassági pozíciójára (ülő, vagy álló utas esetében mért pontok) is. Fontos megjegyezni, hogy a fenti szabványban leírt mérési feltételek nagyvasúti járművek esetén lettek validálva. A közúti vasúti járművek nagyvasúttól eltérő sajátosságai miatt csak iránymutatásként alkalmazhatók a szabványban megfogalmazott kritériumok. Ezek közúti vasúti alkalmazhatóságát vizsgálni kell. A fentiekben túlmenően a kinematikai mozgásjellemzők határértékeinek pontosabb megállapításához célszerű lenne figyelembe venni a Budapesten közlekedő összes jármű mérésel meghatározott futásjellemzőit.

## 2. A jármű kinematikai mozgásjellemzőinek alkalmazott mérési módszere

### 2.1 A mérő applikáció bemutatása

Napjainkban, már a középkategóriás okostelefonokban szenzorok sokasága megtalálható (mint például a gyorsulásmérő, giroszkóp), melyek adatait a kinematikai mozgásjellemzők méréséhez is fel lehet használni.

A szenzoradatok rögzítéséhez Csikós Attila szoftverfejlesztő közreműködésével dolgoztam ki a CAFat nevű applikációt, mely hosszú tesztelés után elkészített adatgyűjtő szoftver. A CAFat-ba számos felhasználást könnyítő funkció is bekerült a mérések rögzítése mellett. Küllemét tekintve a lehető legegyszerűbb kinézetre törekedtünk (1. ábra).



1. ábra: A CAFat v1.12 mérőprogram működéséről készült képernyőfelvétel (a.) a program indítása előtt, b.) mérés közben c.) fájl mentésekor

A szolgáltatott adatok egy \*.csv fájlba kerülnek kiírásra, a mért paraméterek a következők:

• **A mérés kezdetétől eltelt idő.**

• **Jármű sebesség [m/s]**, mely adott időpontban a GPS adatokból meghatározott pillanatnyi sebességet mutatja.

• **A földrajzi szélesség és hosszúság**, melyek alapján földrajzi koordináta rendszerben megkapjuk a mérés helyét.

• **A GPS helyadatok meghatározásának pontossága [m].**

• **A három mérési tengelyhez tartozó gyorsulás adatok [m/s<sup>2</sup>]**. Jelen kutatómunkában az oldalgyorsulás, vagyis a keresztirányú komfortérzet fő befolyásoló tényezőjének kimutatásában nyújt segítséget.

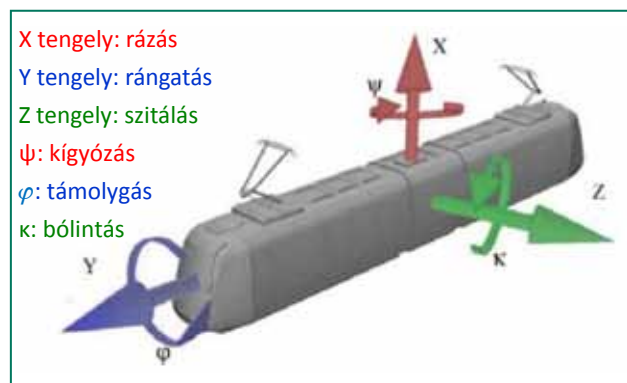
• **Az orientációs adatok [°]**: a telefon térbeli elfordulását mutatják a mágneses északhoz és a gravitációs vektorhoz képest.

• **A háromtengelyű giroszkóp adatai [rad/s]** Az orientációhoz hasonlóan a kötőpályás közlekedés kinematikai vizsgálatánál, az ívviszonyok, illetve a túlemelés kimutatásánál nyújt segítséget.

• **A markerezés**, mely a mérő applikáció beépített gombjainak adott időhöz tartozó megnyomásakor megjelenő információk helyei.



A **2. ábra** a mérési irányokat és a rajtuk azonosítható szabálytalan járműmozgásokat szemlélteti.



**2. ábra:** CAFat applikáció mérési tengelyeinek értelmezése és a szabálytalan járműfutás kapcsolata

### 2.2. Mérési elrendezés

Az okostelefonokban lévő szenzorok tengelyelrendezése telefontípustól független, szabványosított elrendezés. A gyorsulásmérő, mágneses iránytű és a giroszkóp alkalmasak a térbeli mozgás leírására (3 mérési tengely). A mérési tengelyek a jobb kezű koordináta rendszert követik. Ezen tengelyek pontos elhelyezkedését a **3. ábrán** láthatjuk. A tengelyek körüli elfordulások pozitív irányát is a jobbkezes szabály határozza meg. A mérések során a telefont a hosszú oldalával fektetve helyeztem a kocsiszekrény falára úgy, hogy az y-tengely pozitív iránya megegyezzen a menetiránnyal. A mérések túlnyomó részében egy szilikon pad segítségével rögzítettem a jármű ablakához a készüléket, ezzel elkerülhető volt, hogy emberi hiba által okozott mozgás rossz eredményt adjon.



**3. ábra:** Alkalmazott mérési elrendezés a CAF villamos ablakának alsó sarkában (szilikonpaddal rögzítve)

### 2.3 A mért és szolgáltatott paraméterek értelmezése

Kiemelt példaként a giroszkóp és az oldalgyorsulás adatainak kapcsolatát részletezem, mely a kiértékelésem szerkesztését képezte.

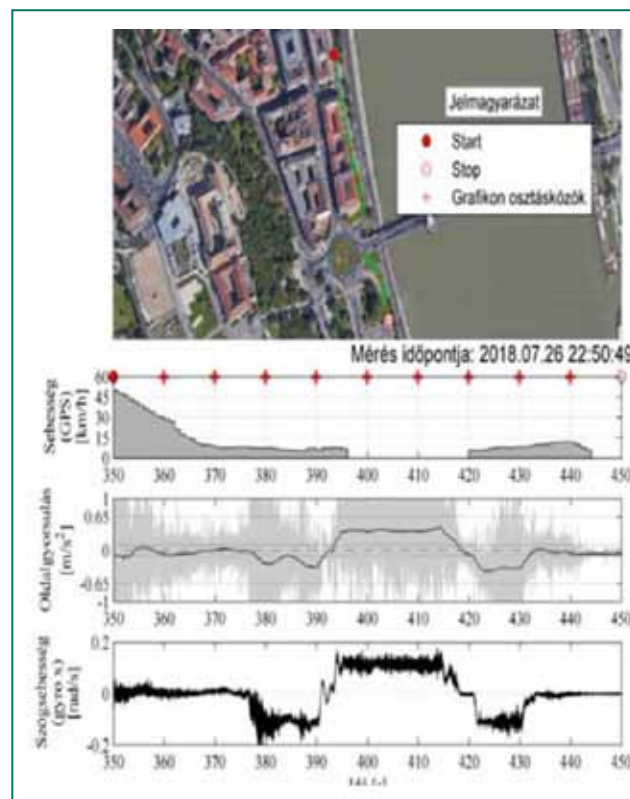
**Oldalgyorsulás és giroszkóp adatok kapcsolata [5]**

A **4. ábra** az oldalgyorsulás és a giroszkóp adatokat hasonlítja össze. A felső diagram a jármű sebességét, a középső a nyers (szürke) és az ívviszonyokat jellemző szűrt oldalgyorsulás komponensét (fekete), míg az alsó a szűrés nélküli giroszkóp adatot ábrázolja. A mérés során egy CAF Urbos3, 5 modulós villamos jobb hátsó ablakánál végzett mérés látható a Lánchíd alagútban. Az oldalgyorsulás és giroszkóp adatok láthatóan jól hasonlítanak (**4. ábra 2. és 3. grafikon**), melynek oka, hogy a giroszkóp által szolgáltatott adatokból, a **(2.1) összefüggés** alapján számolható az oldalgyorsulás.

$$a_0 = v \cdot \omega = v \cdot \frac{v}{R} = \frac{v^2}{R} \quad (2.1)$$

ahol  $a_0$  [m/s<sup>2</sup>]: oldalgyorsulás,  
 $v$  [m/s]: mért járműsebesség,  
 $\omega$  [rad/s]: szögsebesség,  
 $R$  [m]: ívsugár,

Fontos megjegyezni, hogy a **(2.1) összefüggés** csak túlemelés nélküli pályaszakaszon és állandó járműsebesség mellett alkalmazható megfelelő pontossággal.



**4. ábra:** Oldalgyorsulás és giroszkóp adatok kapcsolata (CAF villamos - Samsung Galaxy S8 készülék)

### 2.4 A vizsgált jármű utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszetének meghatározása [6][7][8][9]

Budapesten a jelenleg üzemszerűen közlekedő járműpark nem tekinthető homogénnek, illetve az OVSZ sem tér ki arra, hogy a kinematikai mozgásjellemzőket a jármű kocsiszekrényén belül pontosan hol kellene értelmezni. A gyakorlatban alkalmazott közelítő képletekben a jármű tömegközéppontjában értelmezzük őket. A mozgásjellemző

vektorok értékei azonban a súlyponttól távolodva jelentősen változhatnak.

Különösen igaz ez az állítás a multicuklós járművek esetén, ahol a „forgóvázak” és a járműszekrények között elhelyezett csuklók konzolosan kapcsolódnak egymáshoz. Ez a szerkezeti kialakítás jelentős többlet igénybevételt jelent a pálya számára, így a vizsgálatok során egy új beszerzésű multicuklós villamos, a CAF Urbos3 típusú jármű futási tulajdonságait vizsgáltam. Ezek a járművek befüggesztett (hajtás nélküli) és hajtott kocsiszekrényrészekből állnak, ugyanakkor minden kerék hajtott és egymástól függetlenül képesek ívben, kis mértékben sugárirányba befordulni.

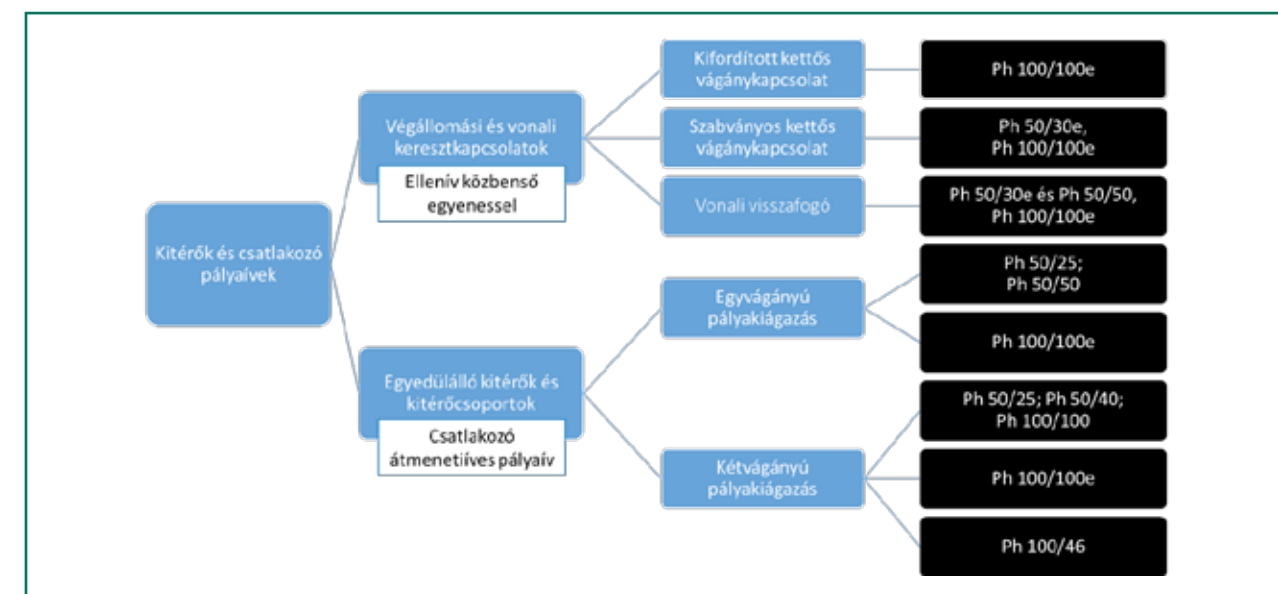
A vizsgálatok során az elsődleges cél az utazási komfortérzet meghatározása volt, ezért a járművön belüli mérési keresztmetszetek kiválasztásakor az utasok lehetséges szélső helyzete volt a mértékadó. A kritikus keresztmetszet meghatározása során, egy járművön, egy időben, több keresztmetszetben és a hálózaton több helyen végeztünk méréseket. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a jármű eleje és a vége a mértékadó keresztmetszet, és a kitérőméréseket már csak ebben a mérési keresztmetszetben végeztem el.

## 3. Kitérőcsoportok, vágánykapcsolások és csatlakozó pályáinak mozgásgeometriai vizsgálata

### 3.1 A mérési és vizsgálati helyszínek kiválasztásának szempontjai [4] [10]

Diplomamunkámban csak a CAF típusú villamosok által üzemszerűen járt Phoenix rendszerű kitérőkkel foglalkoztam.

A vizsgált kitérők kiválasztása során (**5. ábra**) igyekeztem minden járatos típust figyelembe venni. A különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők összehasonlítása során az elsődleges szempont a szabálytalan járműmozgás (oldalirányú lökések és keresztirányú lengések) mértékének számszerűsítése és a kitérő paramétereivel való kapcsolat keresése volt.



**5. ábra:** A vizsgálati helyszínek csoportosítása

### 3.2 Mérések kiértékelése

Az oldalgyorsulás kiértékelése során a mért és a **(3.1) összefüggéssel** a pályageometria alapján számolt értékek eltérését vizsgáltam.

$$a_0 = \frac{v^2}{R} \quad (3.1)$$

ahol:

$a_0$  [m/s<sup>2</sup>]: kiegyenlített szabad oldalgyorsulás  
 $v$  [m/s]: a mérés során rögzített járműsebesség  
 $R$  [m]: körívsugár (kitérők esetében  $R_{k1}$  és  $R_{k2}$  jelöléssel)

Abban az esetben, ha az eltérés nem haladta meg a 20%-ot úgy megfelelő az oldalgyorsulások eltérése, melyet zöld kiemeléssel láttam el. Ha a többszöröse a 20%-os eltérésnek, azt piros színnel jeleztem.

Erre a **6. ábrán** látható kiértékelést mutatom be példaként.

A dinamikus oldalgyorsulás esetében a BKV Zrt. által használt „Sárga könyv” határértékeit vettem alapul, ehhez hasonlítottam a mért értékeimet (**1. táblázat**).

**1. táblázat:** A „Sárga könyv” alkalmazott határértékei

$h=0,40 \text{ m/s}^3$  pályávekben és folyópályában megengedett legnagyobb érték

$h=0,80 \text{ m/s}^3$  kitérőben megengedett legnagyobb érték

A **2. táblázatban** pedig az alkalmazott adatfeldolgozási módszert, a szűrők és mozgóátlagok paramétereit mutatom be.



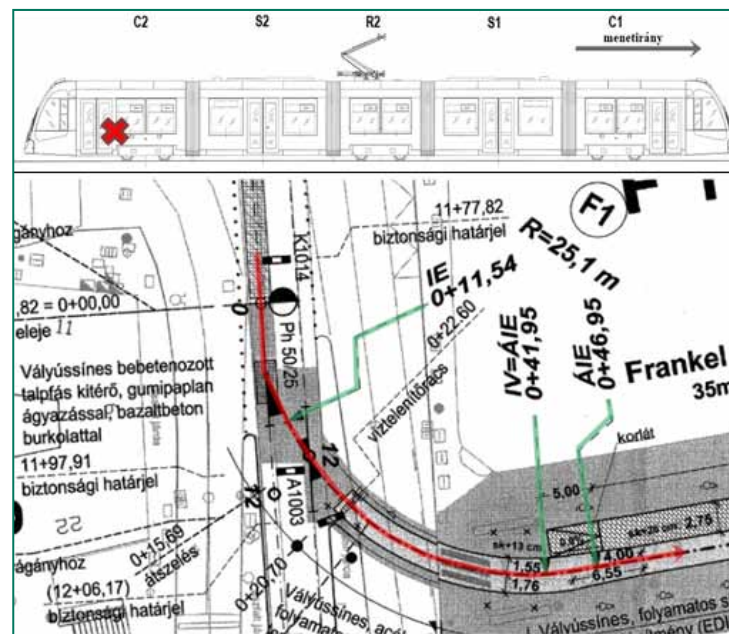
2. táblázat: Az alkalmazott kiértékelési módszer paramétereit

<b>SEBESÉG adatok „simítása”</b>	<b>GIROSKÓP</b>
A GPS sebesség adatok ugrása miatt kialakuló lépcsőzetes jelalak simítása szükséges <b>T=1,5 s ablakszélességű mozgóátlag</b> alkalmazásával: $v$ [m/s]	A jármű függőleges tengely körüli szögsebességet jellemző giroszkóp esetében a zajok leszűrése, <b>2 Hz-es alul átteresztő szűrővel</b> (EN 12299): $gyro_{x,LPF}$ [1/s]
<b>OLDALGYORSULÁS</b>	
A rögzített nyers oldalgyorsulás adatok esetében mozgóátlagolást alkalmaztam, melynek időköze: <b>T=0,5 s</b> A már szűrt giroszkópból pedig oldalgyorsulást számoltam: $a_{gyro} = v \cdot gyro_{x,LPF} \quad (3.2)$ ahol: $a_{gyro}$ : a szűrt giroszkóp adatokból számított oldalgyorsulás [m/s <sup>2</sup> ] $v$ : a mozgóátlagolt sebesség [m/s] $gyro_{x,LPF}$ : az alul átteresztő szűrt x-tengelyű giroszkóp [rad/s]	
<b>OLDALGYORSULÁS - VÁLTOZÁS</b>	
Numerikus deriválás segítségével számítottam az oldalgyorsulás változást a már előzetesen mozgóátlagolt oldalgyorsulásból, illetve a giroszkópból származó oldalgyorsulásból is a (3.2) összefüggés szerint. $h_{acc} = \frac{da_0}{dt} \quad (3.3)$ ahol: $h_{acc}$ : a (3.3) összefüggés szerint meghatározott, mért oldalgyorsulás idő szerinti deriváltjából származó oldalgyorsulás-változás [m/s <sup>3</sup> ] $a_0$ : a készülékkel rögzített, mozgóátlagolt oldalgyorsulás [m/s <sup>2</sup> ]	
$h_{gyro} = \frac{da_{gyro}}{dt} \quad (3.4)$ ahol: $h_{gyro}$ : a (3.4) összefüggés szerint meghatározott oldalgyorsulás-változás, az (3.2) összefüggés szerint $a_{gyro}$ : az (3.2) összefüggés segítségével meghatározott oldalgyorsulás	
Majd a kapott értékeket (azok zajossága miatt) szintén mozgóátlagoltam, mely esetében a <b>T=0,5 s mozgóátlagot</b> alkalmaztam.	

A 6/1. ábra tartalmazza a mérés körülményeit (az útirányt, a viszonylat számát, a vizsgált helyszínt, kitérő típusát, a közlekedő jármű típusát és pályaszámát) és a mérési helyszín vágányépítési helyszínrajzát.

A 6/2. ábrán látható a vizsgált szakasz egyes geometriai elemei szerinti szakaszokra bontása, a kitérő elhelyezkedése, illetve a 2. táblázatban meghatározott módszer szerinti mozgásgeometriai jellemzők grafikonjai. Az oldalgyorsulást ábrázoló grafikonon szemlélteti a (3.1) összefüggés szerint számított oldalgyorsulást (kék). Melyet ezen az ábrán az egyes geometriai elemek határainak szemléltetése céljából jelöltem.

Jól látható, hogy az oldalgyorsulás grafikonján a jármű rövid mozgásérzékelő hossza miatt 2 „rampa” is kialakul a kitérőben, az első az egyenes és 50 m sugarú ív közvetlen csatlakozásánál, míg a második az 50 m sugarú körív és a 25 m sugarú körív csatlakozásánál alakul ki. Ezt követően egy viszonylag konstans szakasz következik, de a növekvő járműsebesség miatt a csatlakozó ívben és a kimenő átmeneti ívben már igen nagy oldalgyorsulás értékeket rögzítettem.

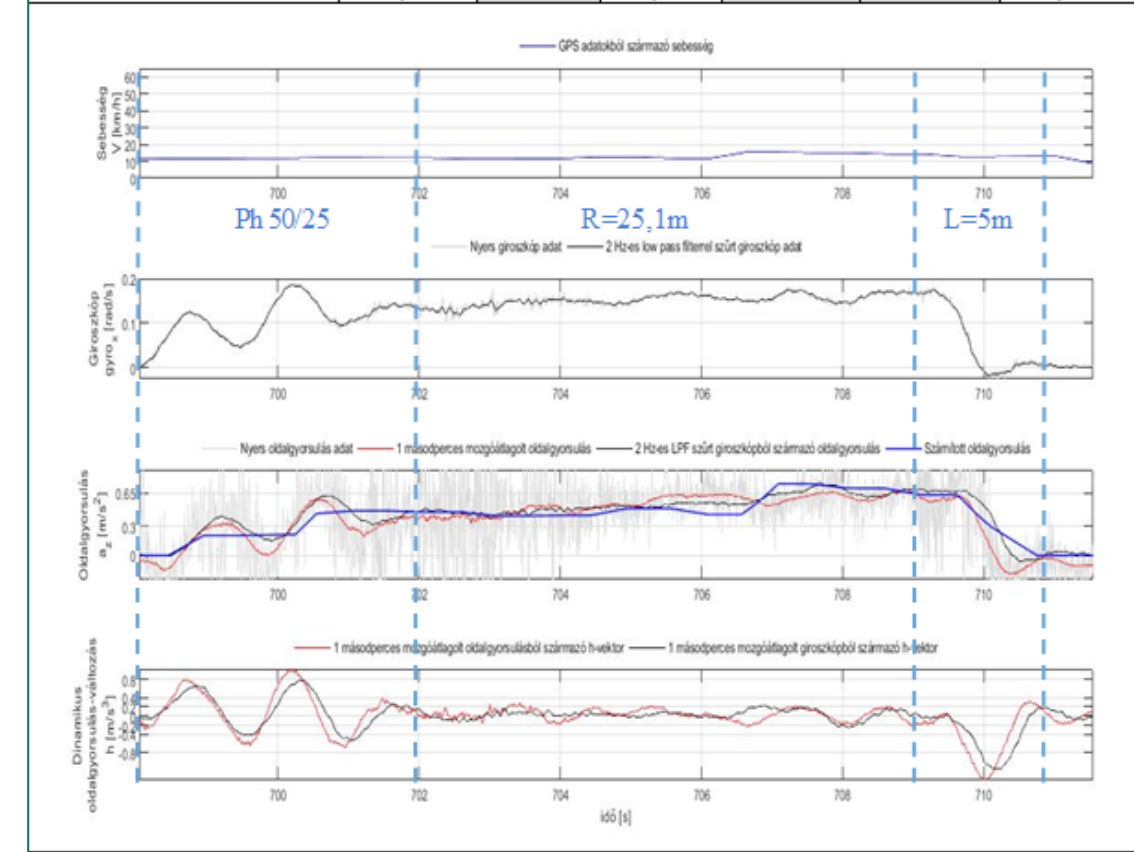


6/1. ábra: 17-es villamos, Margit híd, budai hídfő, VPh50/25 vonali kiágazó kitérő és csatlakozó átmenetiíves pályáiv vizsgálata (CAF Urbos3, 5 modul, 2211)

A dinamikus oldalgyorsulás-változást ábrázoló grafikonon látható, hogy hol helyezkednek el a görbületváltozásos helyek, melyek esetében a „Sárga könyv” értékeit vettem alapul és az annak való megfelelést vizsgáltam.

Kirajzolódik, hogy az értékek csak néhány esetben lépik át a 20%-os eltérést a számítotthoz képest, ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a gyorsulásmérőből származó és a giroszkópból származó grafikonok jól közelítik egymást a C2 jelű modulban.

Sebesség adatok [m/s]	698,0 s - 698,5 s	698,5 s - 700,0 s	700,0 s - 700,5 s	700,5 s - 702,0 s	702,0 s - 709,0 s	709,0 s - 710,7 s
Átlagos sebesség:	3,22	3,260	3,33	3,31	3,8	3,67
Maximális sebesség:	3,23	3,300	3,39	3,41	4,32	3,98
Sebesség szórás:	0,01	0,030	0,03	0,08	0,4	0,14
Ívadatok [m]	R <sub>k1</sub>		R <sub>k2</sub>		R <sub>3</sub>	L <sub>k1</sub>
	50		25		25,1	5
<b>Oldalgyorsulás adatok [m/s<sup>2</sup>]</b>						
mért (átlag):		0,30		0,44	0,60	
számított:		0,21		0,44	0,58	
eltérés:		29,1%		0,4%	4,1%	
<b>Dinamikus oldalgyorsulás adatok [m/s<sup>3</sup>]</b>						
mért (minimum):	0,19		-0,48			-1,15
mért (maximum):	0,66		0,64			0,18
mért (szórás):	0,15		0,37			0,47



6/2. ábra: 17-es villamos, Margit híd, budai hídfő, VPh50/25 vonali kiágazó kitérő és csatlakozó átmenetiíves pályáiv vizsgálata (CAF Urbos3, C2 modul, 2211)



## 4. Összefoglalás

A lehetőségeimhez mérten igyekeztem a legváltozatosabb helyeket vizsgálni nagy mérési adatbázisból, melyhez közel 100 mérési sorozatot készítettem és használtam fel.

### 4.1. Mérési eredményeket befolyásoló tényezők

#### A pálya műszaki állapota

Igyekeztem kiválasztani azokat a kitérőket és csatlakozó pályaszakaszokat, amelyek a lehető legjobb műszaki állapotban vannak, ezzel minimalizálva ezt a hatást. Emiatt a mért lengések és lökések elsősorban a jármű futási tulajdonságait jellemzik, adott geometria és kitérő esetén.

#### Kocsiszekrény, mint rugózott tömeg hatása

(jármű műszaki állapot és szerkezeti kialakítás)

A jármű ívekben való haladásakor a kétoldali gumirugók (járműfelfüggesztés) eltérő aszimmetrikus összenyomódása miatt a kocsiszekrény az ív irányultságának megfelelően bedől. Ez a hatás az aktuális sebesség függvényében jelentősen növelheti a mért oldalgyorsulás adatokat. A vizsgálataim során csak az új beszerzésű CAF villamosokat vizsgáltam, amelyek műszaki állapotát homogénnek tekinthetjük.

#### Közelítő képlet alkalmazhatósági korlátai [11]

A gyakorlatban alkalmazott közelítő képletek jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak. A járművet tömegpontként, a vasúti pályát pedig térgörbéként jellemzik. A jármű súlypontpályája eltér a vágánytengely tényleges vonalvezetésétől. Különösen jelentős ez az eltérés kis sugarú ( $R < 40$  m), átmeneti ív nélküli pályáinak esetén.

### 4.2. Csatlakozó pályáinak általános vizsgálati tapasztalatai

A különböző pályáinak és kombinációik kinematikai vizsgálatából összességében megállapítható, hogy az általam vizsgált jó műszaki állapotban lévő pályáikon – ahol a kitérőkön és átszelésen való behaladás nem befolyásolja a mért eredményeket – a legtöbb esetben 20% alatti eltérés tapasztalható a kocsiszekrényen az okostelefon által mért és a (3.2) összefüggéssel a giroszkóp adatokból számított szabad oldalgyorsulás értékek között.

Az egyes pályáinak geometriáját tekintve a kocsiszekrényen mért szabad oldalgyorsulás megbízhatóan jellemzi az ívviszonyokat, azok görbületváltozásának alapjellegzetességeit:

- az ívek irányultsága (bal/jobbról),
- két ellenirányú ívet összekötő közbenső egyenes,
- inflexió átmenetiíves ellenívek

Méréseim alapján az oldalgyorsulás és a dinamikus oldalgyorsulás-változás esetében megállapítható, hogy a vártnak megfelelően, hosszabb átmenetiívek esetén alacsonyabb oldalgyorsulás és dinamikus oldalgyorsulás-változás értékeket azonosítottam, mint rövidebb átmenetiívek esetén (jármű sebességétől függően).

Nem túlemelt, kis sugarú átmenetiíves pályáinak esetén a kocsiszekrény a türelem és hiány értékének megfelelően kifelé dől, amely dőlésnek a kifizutása nem az átmenetiíves hossz, hanem a jármű mozgásérzékelő hossza mentén történik.

### 4.2. Kitérő vizsgálatok tapasztalatai [12]

**A.) Keresztirányú utazási komfort megítélése a kocsiszekrényen mért oldalgyorsulás és egy 3 tengelyű giroszkóp szögsebesség adatai alapján**

A vizsgált Ph50/25 típusú kis sugarú kitérőkön való közlekedés során a szabálytalan járműmozgás jól megfigyelhető, a keletkező oldalgyorsulások és az utasra ható mozgások kényelmetlenné tehetik az utazást ezen a szakaszokon. Abban az esetben, ha a szélső modulokban utazunk a jármű szerkezeti kialakítása miatt nagy dinamikai hatás éri az utasokat, ugyanez igaz az alátámasztással rendelkező modulok esetében, azzal a különbséggel, hogy az érezhető rezgések azok, amelyek befolyásolják a komfortérzetet.

#### B.) Mért és a közelítő képletekkel becsült oldalgyorsulás adatok összevetése

A szabad oldalgyorsulás közelítő képletében a változó sebesség figyelembe vehető, de a jármű ívérzékelését jelentősen befolyásoló mozgásérzékelő hosszt nem tartalmazza. A közelítő képlet nem veszi figyelembe a járműdinamikai jellemzőket, sem azt, hogy jármű melyik pontjában végeztem a mérést. Fontos továbbá megemlíteni, hogy az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál jellemző transziens jellegű hatásokat szintén nem veszi figyelembe.

A mért és számolt eredmények között a legtöbb esetben 20% alatti eltérés volt tapasztalható. Az ennél nagyobb eltérések a kitérők helyszínrajzi elrendezése, szerkezeti és geometriai kialakításától függően jelentek meg. Egyedülálló egyszerű kitérőknél csak a kis sugarú nagy törésszögű kialakítás esetén tapasztaltam szabálytalan járműmozgást. A vágánykapcsolatok vizsgálata során megállapítottam, hogy a kis sugarú csatlakozó pályáinak, rövid ívhossz és a közbenső egyenes alkalmazása esetén a kedvező geometriai kialakítású Ph100/100e kitérőn is tapasztaltam szabálytalan járműfutást.

#### C.) Az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál fellépő dinamikus oldalgyorsulás-változás összevetése a szabványokban meghatározott kvázi-statisztikus határértékekkel

A közúti vasúti pályatervezési előírásokat tekintve a megkívánt tervezési sebességhez tartozó átmenetiív és minimális ívsugarú paraméterek megadása az oldalgyorsulás-változás megengedett értékétől függ.

Jármű mozgásérzékelő hossza mentén közel lineárisan alakul ki a tisztaív stacionárius oldalgyorsulása. A két legmarkánsabb példa kitérőhöz csatlakozó pályáinak átmenetiív nélküli esetében:

· Etele út/Fehérvári út, ahol a 40 m sugarú ív esetén a keletkező maximális dinamikus oldalgyorsulás-változás  $0,70 \text{ m/s}^3$ ,

· A Puskás Ferenc Stadion esetében pedig a 100 m sugarú ellenív esetében a jármű behaladásakor maximálisan  $0,57 \text{ m/s}^3$ , kihaladásakor minimálisan  $-1,14 \text{ m/s}^3$  dinamikus oldalgyorsulást rögzítettem.

Ebben az esetben is fontos megemlíteni, hogy a jármű sebessége igen nagy befolyással bír, hiszen az Etele úti vágánykapcsolathoz képest a Puskás Ferenc Stadionnál körülbelül kétszer akkora sebességgel közlekedett a jármű.

A már nem hatályos EN 13803-2:2006 szabvány figyelembe veszi az egyenes és körív közvetlen csatlakozásából („ugrások” görbületváltozás) adódó transziens értékeket is. Az ívek besorolásánál 10 vizsgált szakaszon 4 alkalommal a „Sárga könyv” szerint megadott határértéket a mért értékek meghaladták, míg az EN 13803:2006 alapján nem.

Az általam elvégzett mérések alapján megállapítható, hogy a transziens hatás elhanyagolása miatt az – egyébként tervezéshez használt – Sárga könyv csak korlátozottan alkalmas a pályáinak mérések alapján történő utólagos megfelelőségi besorolásához.

#### D.) A rögzített gyorsulás jelalak kiugró értékeinek és jellegzetességeinek vizsgálata különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők esetén

A 7. ábrán foglaltam össze mérési tapasztalataimat a kiugró értékek és a végérintő szögek összefüggésének tekintetében.

Jól látható, hogy:

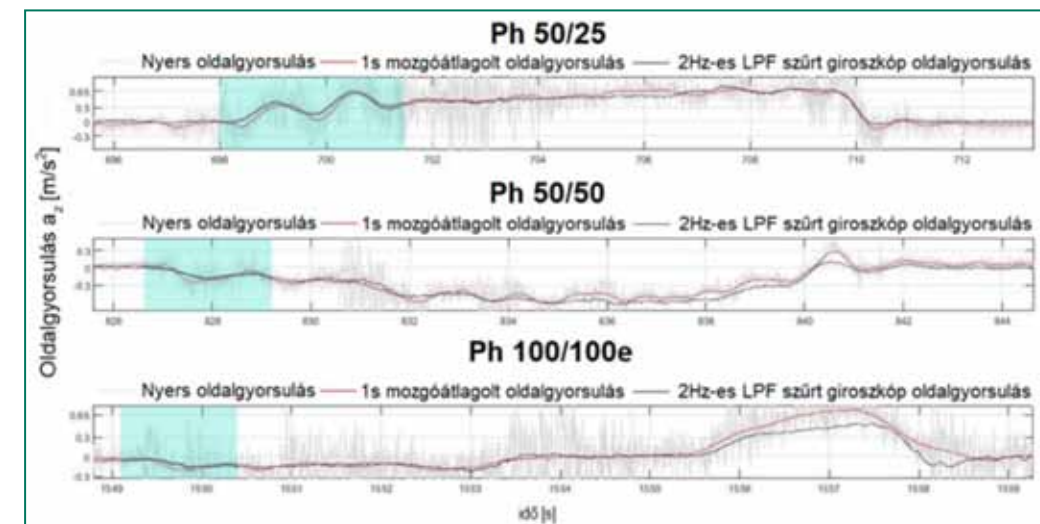
· Állandó mérési sebesség mellett a Ph 50/25 (20-36-37) és a Ph 50/40 (16-24-25) típusú kitérőkön egyértelműen beazonosítható a kitérőbe való behaladásakor a szabálytalan, kigyózó jellegű járműmozgás,

· A Ph 50/30e (14-48-14) típusú kitérőt végállomási kettős vágánykapcsolatban vizsgáltam. Elleníves ágon történő haladás esetén a közbenső egyenesnél jelentős kiugró értékeket tapasztaltam. Vélhetően a rövid közbenső egyenes a nagy végérintőszög és kis sugarú együttesen okozza ebben az esetben a szabálytalan járműfutást

· Ph 50/50 (14-48-14) típusú kitérők esetén (valószínűleg az alacsony sebesség miatt) már csak minimálisan jelenik meg a kigyózó mozgás a kitérőbe való behaladásakor,

· A Ph 100/46 (14-48-14) és a Ph 100/100 (12-00-00) esetében csak minimálisan jelenik meg a kigyózó mozgás a kitérőbe való behaladásakor,

· A Ph 100/100e (8-37-00) esetében egyértelműen megállapítható, hogy nincsenek jelentős kiugrások a mért gyorsulási adatokban. A vizsgálataim alapján megállapítható, hogy nagy végérintő szögű és kis sugarú kitérők esetén a kigyózó jellegű szabálytalan járműmozgás minden esetben megfigyelhető volt, a kisebb végérintőszögű és nagyobb sugarú kitérők esetén ez a kigyózó jellegű járműmozgás csökkent, míg a Ph100/100e kitérő esetén szinte teljesen megszűnt.



7. ábra: Szabálytalan járműmozgások mértékének összehasonlítása különböző sugarú és végérintő szögű kitérők esetén

## Irodalomjegyzék

- [1] ENV12299, „Railway applications - Ride comfort for passengers - Measurement and evaluation,” in ENV Code 12299, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 1997.
- [2] MSZEN12299:2009, MSZ EN 12299:2009, Brussels: European Committee for Standardization, 2009.
- [3] F. Dr. Horváth, „Vasútépítés és pályafenntartás II. kötet,” in *Korszerű vasút- Korszerű vasúttechnika*, Budapest, Magyar Államvasutak Rt., 1999.
- [4] B. K. R. BKV Zrt., Közúti vasúti pályáépítési és fenntartási műszaki adatok és előadások, Budapest: Fővárosi Közlekedési Felügyelet, 2007.
- [5] K. Academy, „Uniform circular motion and centripetal acceleration review,” [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-centripetal-force-and-gravitation/introduction-to-uniform-circular-motion-ap/a/circular-motion-basics-ap1>.
- [6] V. Gáspár, Közúti vasúti pályáinak közelítő kinematikai vizsgálata különös tekintettel az egyes járművek eltérő szerkezeti tulajdonságaira és a megengedhető maximális igénybevételekre, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem: Út- és Vasútépítési Tanszék, 2017.
- [7] CAF, „BUDAPEST TRAM,” 2018. [Online]. Available: <https://www.caf.net/en/productos-servicios/proyectos/proyecto-detalle.php?p=268>.
- [8] BKK, „FRISSTÍVE! 37 helyett 47 darab új villamos érkezik Budapestre,” 3 március 2014. [Online]. Available: <https://bkk.hu/2014/03/ujvillamosok/>.
- [9] G. Mészáros, „Lejebb a padlóval! I-VI. rész,” 24. július 2011. [Online]. Available: <http://iho.hu/hir/az-alacsonypadlos-villamosok-kialakulasa-es-tortenete-i>.
- [10] G. Tóth, Phoenix sínekkel készült közúti vasúti kitérő tervezése, Budapest: Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Út- és Vasútépítési Tanszék, 2014.
- [11] R. Németh, A közúti vasúti pályatervezési előírások mozgásgeometriai vizsgálata Ganz ipari csuklós villamoson rendszeresített inerciális mérőrendszer alkalmazásával, Győr: Széchenyi István Egyetem: Építész-, Építő és Közlekedésmérnöki Kar, 2018.
- [12] EN13803-2:2006, Switches and crossings and comparable alignment design situations with abrupt changes of curvature, %1. kötetPart 2, London: British Standards Institution, 2006.
- [13] E. Gonda, „A pálya-jármű kölcsönhatás mozgásgeometriai vizsgálata közúti vasúti kitérőkben és kis sugarú pályáikon okostelefonok szenzoradatainak felhasználásával,” *TDK Szemlélyvények 2018*, pp. 18-32, 2019.
- [14] E. Gonda, Á. Dr. Vinkó és A. Csikós, „CAF alacsonypadlós közúti vasúti jármű futástechnikai vizsgálata kitérőkben okostelefonok szenzoradatainak felhasználásával,” in *Széchenyi István Egyetem*, Győr, Magyarország, 2019.



## Keverőtelepi meleg aszfaltrecycling

Szarvady Csaba



AMA Stáb  
műszaki vezető  
STRABAG Általános Építő Kft.

A cikk tartalmilag a 2021.05.26-án a MAÚT rendezésében tartott Innovációs Fórum előadására épül, az abban lévő képek, vagy teljes diák alkalmazásával.

Valamikor a természet, az ember alakította környezet, az út egyfajta harmóniában léteztek egymás mellett. Ezt is szimbolizálhatja akár az 1.sz. kép. Egy kicsit tovább gondolva az aszfalttal foglalkozók számára más összefüggéseket is meg lehet találni a kép láttán. Egyrészt az életünk része, a mindennapi megélhetésünk biztosítója, másrésztől ugyanolyan rejtélyes, mint maga a természet. Egyiket sem sikerült még teljes mértékben megismernünk.

Mára jelentősen megváltozott ez a helyzet. Az elanyagiasodott világunkban egyre nagyobb mértékben avatkozunk be a természet rendjébe, ami már veszélyezteti a következő generációk megélhetését. Az aszfaltos szakmával mélységében foglalkozók számára belemagyarázható a képbe egy további összefüggés is. Az ember a megjelenése óta kutatja a természet törvényszerűségeit, ami máig nem sikerült teljes mértékben megismerni és ugyanígy van ez az aszfalttal is. A bitumen, a természetes aszfalt ismert volt már az ókorban is, ám a mai napig az empiria határozza meg szakmánkat. Az emberi elme megállíthatatlan működése azonban egyre közelebb visz



1.sz. kép – forrás: internet

minket az aszfalt, mint anyag megismeréséhez annak ellenére is, hogy gyakorlatilag alig foglalkozunk ennek a fontos anyagnak a kutatásával. Bízom benne, hogy közel vagyunk az aszfalt anyag törvényének megfogalmazásához, amely átveszi gondolkodásunkban az eddigi empiria szerepét.

Bízom abban is, hogy felismerje az ember a természetes környezete megővésének fontosságát. Erről tanúskodnak a következő képek. Manapság nincs aszfaltos gondolata nélkül, ami a zöld Európa vízióját vázolja fel a 2. sz. képen. A 3. sz. kép pedig a 2030-ig való feladatainkat határozza meg, ami egy 55%-os emisszió csökkentést irányoz elő 2019-hez képest.

2. sz. kép – forrás:  
6. Drezdai Aszfaltnapok

3. sz. kép – forrás:  
6. Drezdai Aszfaltnapok

Hazánkban is gyakori beszéd-téma az ökolábnyom, a klímasegesség, a CO2 kibocsátás csökkentése. A 4. sz. képen a köztársasági elnökünk, aki a környezetvédelmet tűzte ki zászlajára, éppen erről tart előadást 2019-ben.

4. sz. kép – forrás: internet

### A European Green Deal

• “I want Europe to strive for more by being the first climate-neutral continent.”

• “To help us achieve our ambition, I will propose a European Green Deal in my first 100 days in office.”

• “This will include the first European Climate Law to enshrine the 2050 climate neutrality target into law.”



6. Drezdai Aszfalttag, 12-13 December 2019

### Ein Klima neutraler Kontinent

• Aktuelles Ziel: 40% Reduzierung von Emissionen bis 2030. Neues ambitionierteres Ziel seit 11. Dezember 2019: 55%.

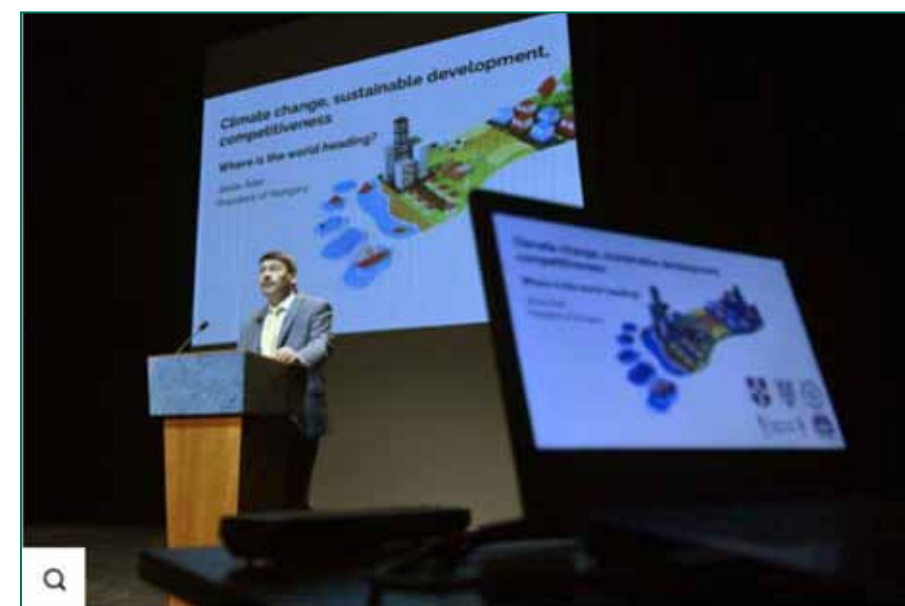
• Ausdehnung des Emissionshandels (Emissions Trading System - ETS) auf den maritimen Sektor und schrittweise Reduzierung der Privilegien der Airlines. Ebenso einbeziehen von Verkehr und Bausektor!

• Für eine zukunftsorientierte Wirtschaft: Eine neue Strategie für die Industrie (new industrial strategy).

• Weltmarktführer in Technologien für Kreislaufwirtschaft (circular economy) und sauberen Technologien (clean technologies).



6. Drezdai Aszfalttag, 12-13 December 2019



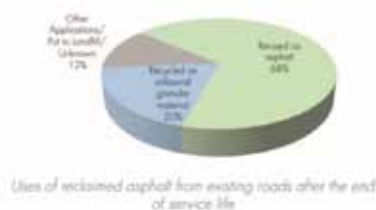
Áder János köztársasági elnök előadást tart a klímaváltozásról az egykor magyarországi egyetemeken végzett diákokat tömörítő nemzetközi alumni szervezeteknek Budapesten, a Nemzeti Táncszínházban 2019. június 12-én. FORRÁS: MTI/KÖZTARSASAGI ELNÖK SZOLGÁLTATÁSA



## Re-use von Ausbauasphalt vs. Recycling

Abfallhierarchie zeigt die Prioritäten:

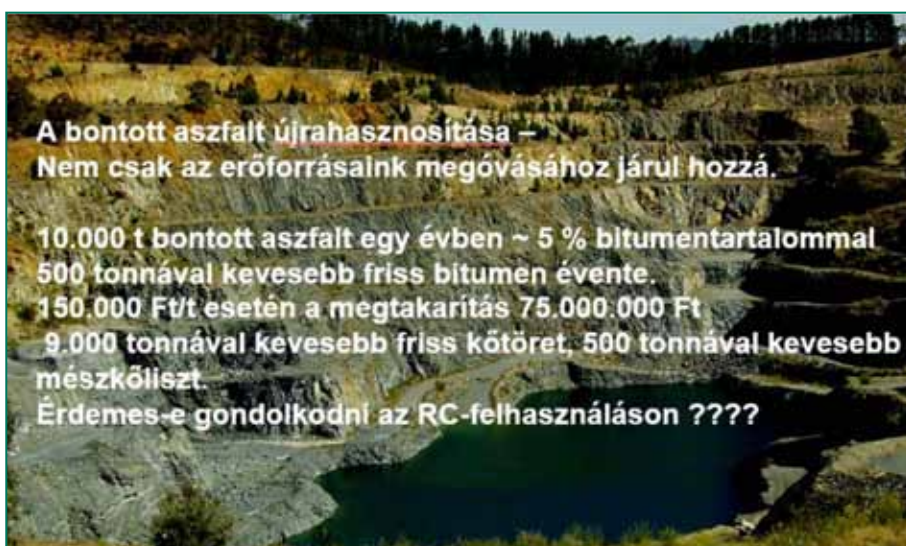
- (a) prevention; repairing - Vermeidung
- (b) preparing for **re-use**; - Wiederverwendung
- (c) recycling; - Recycling
- (d) other recovery, e.g. energy recovery; and - Verbrennung
- (e) disposal. - Deponierung



**Recycling is nicht gut (genug)!**



8. Dresdner Asphalttag, 12-13. Dezember 2019



Az aszfaltos szakma egyébként mindig is büszkén állította, hogy alapanyaga teljes mértékben újrahasznosítható. Így igaz ez, de azért vannak akadályok, buktatók is. Határozottan emlékszem a néhai Dr Bodnár Géza – a HAPA alapító elnöke – szavaira, amikor arról beszélt még az elmúlt században, hogy különböztessük meg az újrafelhasználás és újrahasznosítás fogalmakat egymástól. Egyáltalán nem mindegy, hogy pl. csak valamilyen szórt alapot készítenek a bontott, vagy márt aszfaltból, vagy újra ugyanolyan terméket! Mintha ez köszönne vissza napjainkban is az európai gondolkodásban, hiszen az 5. sz. képen már a nemzetközileg használt recycling megnevezést is kevésnek gondoljuk.

5. sz. kép – forrás:  
6. Dresdai Aszfaltnapok

Mielőtt a csak anyagias szemléletű olvasónak elege lenne a „pusztán környezetvédelmi” gondolataimból, felhívom a figyelmet a 6. sz. képen láthatókra, ugyanis pusztán anyagi szempontokat figyelembe véve is hatalmas potenciál van az újrahasznosításban.

6. sz. kép

## 1864 – ELSŐ ASZFALTGYÁRTÁS 1903 – ELSŐ ÚJRAHASZNOSÍTÁS

Pesten a Palatinus (ma Nádor) utca járdaépítése



„... A részvénytársaság vezetője 1903-ban rendelte el a bontott aszfaltanyag újrafelhasználását. 1906-tól az Orczy úti gyárban külön eljárás alapján került felhasználásra a bontott öntöttaszfalt, aszfaltbetonok, a homokaszfalt (örlés után).”

(Magyar Aszfalt vállalat története)

Fordás 150 éves a magyar aszfaltipar - HAPA történelmi szakkönyv

A keverőtelepi újrahasznosítás egyébként szinte egyidős az aszfaltgyártással. Az első szabaddal bejegyzés erre vonatkozóan Amerikából származik a XX. század elejéről. De legyünk büszkéek magunkra, ugyanis a század elején már vállalati előírásban szerepelt a bontott aszfaltanyag újrafelhasználása. Erről tanúskodik a 7.sz. kép, ami a HAPA gondozásában néhány éve megjelent aszfalttörténelmi szakkönyv lapjain is olvasható.

7. sz. kép

Igaz, nagyon sok idő telt el ezt követően, amíg újra téma lett az újrahasznosítás hazánkban. A nosztalgizók kedvéért bemutatom a 8.sz. ábrán ennek a korszaknak a keverőtelepi hálózatát, amelyben már ott volt Pilisvörösvár a maga 20-25%-os dobgyűrűs visszaadagolási lehetőségével

8.sz. kép

A 9. sz. ábra, amely már szintén történelem, de sokunknak még élő emlék. Így vagyok ezzel magam is és persze Veress Tibor is, aki a mai elnöke az egyesületnek. Együtt mantráztuk a „MASZ-standard” kifejezést, mint az elemiben az egyszeregyet. Régimódinak tűnő eszköz, amit akkor az újrahasznosításban messze előttünk járó nyugatiak próbáltak ezen a módon is belélnk plántálni.

9. sz. kép

Ez sikerült is, hiszen a MASZ, mint az ezredforduló meghatározó magyarországi aszfaltgyártója meg is valósította a hideg keverőtelepi visszaadagolás programját. El is indultak a statisztikai számaink fölfelé. Úgy technológiailag, mint anyagilag egy sikeres programnak bizonyult. Majd újra egy visszaesés következett be a 2010-es évektől kezdve. Nehéz erre magyarázatot találni, mint csak a hozzáállás hiánya. Pedig a gépgyártók mindent megtettek azóta is, hogy egyre nagyobb mértékben lehessen az újrahasznosítást művelni. Amúgy is leggyakrabban ők állnak a fejlesztések mögött. Egyre nagyobb, hatékonyabb és környezetbarátabb gépeket képesek kínálni, de ez még nem elég. Kell még egy megfelelő technológia és a TUDAT! Nem véletlenül emelem ki a szót. Ez határoz meg ugyanis mindent. A 10. sz. ábrán összefoglaltam a személyes tapasztalataimat ennek kapcsán. Pirossal emeltem ki azt, hogy az újrahasznosítandó anyag – nemzetközi jelöléssel - RA egy termék, amit ennek megfelelően kell kezelnünk. Azaz a termékszabványban és minden részletességére kitérve, majd ezt követően kerülhet bele az műszaki előírásainkba.

10. sz. kép



## A TUDAT, AVAGY SZEMÉLYES ÉLMÉNYEK

### A KIVITELEZŐK OLDALÁN (IS)

- Néha már félve mentünk előadni,
- Nem, nem és nem .....
- Nem éri meg csak a helyben található,
- Nagyobb az energiateljesítmény,
- Most éppen nem éri meg, mert „olcsó” a bitumen,
- Nem egyenértékű az új aszfalttal,
- Jobban járok, ha helyben felhasználom alaprétegebe
- .....

### SZABÁLYOZÁSI KÉRDÉSEK

- Kié a márt, bontott anyag?
- Ki a felelős az újrahasznosításért?
- (Veszélyes) hulladék-e?
- Szabvány engedi-e?
- **Az RA egy termék!**
- Mégpedig egy különösen fontos termék!
- A terméké válása a kiírónál indul!
- (Mint oly sok minden, ami az aszfalttal kapcsolatos – pl. tartósság).

STRABAG  
TEAMS WORK

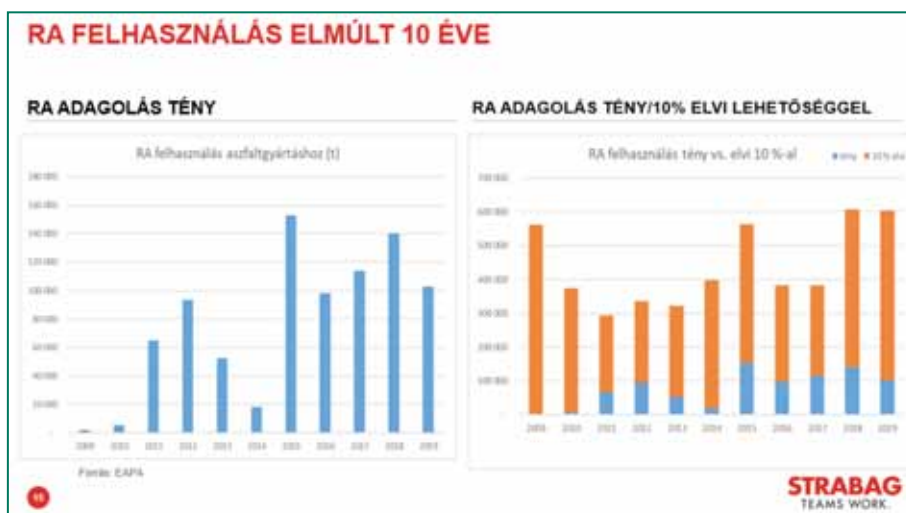




11. sz. kép



12. sz. kép



13. sz. kép

A 11. sz. ábra egy jó példát mutat a tudat hiányára. Sajnos még manapság is lehetne hasonló képeket készíteni az országban. Nos, ebből így nem lesz újrahasznosítás. Egyébként pedig a 12. ábrán látható megfelelően tárolt és kezelt anyag sem lesz holnap elfogadható az emelt szintű visszaadagoláshoz!

Szintén a tudati hiányoságra (is) visszavezethető szomorú tényre hívom fel a figyelmet a 13. sz. ábrán, amely azt mutatja be 10 év távlatában, hogy mit mulasztottunk el csak egy 10%-os hideg visszaadagoláshoz képest, ami valljuk be nem egy kunszt! Most pedig arról álmodozunk, hogy teljes visszaadagolás, melegen, párhuzamos dobbal. Igen, a gépek oldaláról biztosított akár a 100% közeli is, de ez messze nem elég!

## ELŐTTÜNK ÁLLÓ FELADATOK

### LEHETŐSÉGEK ÉS KIHÍVÁSOK

- Igazából most kezdődnek a komoly felújítások,
- Két autópályán várható összesen mintegy 1,5 Mt mart, bontott aszfalt;
- Elérkezett a meleg keverőtelepi újrahasznosítás időszaka;
- Grandiózus tervek és hiányzó tapasztalat;
- A korábban bemutatott tévhitek, hozzáállási problémák is velünk élnek;
- A megfelelő aszfaltkeverőket beszerezhetjük és lesz végre RA mennyiség is;
- Ezek önmagukban nem elegendőek!

### MINDEN RÉSZTVEVŐ ASZFALTGYÁRTÓ LESZ

- A meleg újrahasznosítás a kiírással indul, majd rögtön marással folytatódik;
- Úgy kell marni, hogy a keletkező anyag egy termék legyen;
- Szelektíven, a rétegeket külön-külön, sőt a különböző felújítási rétegek figyelembe vételével, majd tovább törni és osztályozni;
- Ma már intelligens marásról kell beszélnünk, ami nem (csak) a 3D, hanem a mindenkor szükséges és elégséges hűtési víz bevitelét jelenti;
- Természetesen külön deponálni az anyagokat;
- A fedett depótér lenne az igazi, de ezt még a gazdagabb országok sem tudják maradéktalanul betartani.

© STRABAG AG, 90020

STRABAG  
TEAMS WORK.

## MINDEN RÉSZTVEVŐ ASZFALTGYÁRTÓ IS KELL, HOGY LEGYEN!

- A kiíró legyen tudatában, hogyan is működik a meleg újrahasznosítás;
- Igények és lehetőségek tisztázása;
- Már a tervezésnek is újrahasznosítási logikával kell megtörténnie;
- Az értéktérítés egy kiemelt részeként kell kezelni a meleg újrahasznosítást;
- Jogi és szabályozási háttér megteremtése;
- A kivitelezők is oda kell, hogy tegyék magukat! A technológusok, a műszaki ellenőrök, az építésvezetők, művezetők, gépkezelők.....a végén de nem utolsó sorban a vezetők, a menedzserek!!

© STRABAG AG, 90020

STRABAG  
TEAMS WORK.

## NÉMET TAPASZTALATI ELŐÍRÁSOK - TL AG-StB ÉS M WA

### 4.1 Az egyenletesség követelménye

Az aszfaltgranulátum célnak megfelelő felhasználásának előfeltétele a megfelelő egyenletesség, amit a TL AG-StB szerint kell meghatározni. Az egyenletesség meghatározása a különböző befolyásoló tényezők, mint kötőanyag lágyuláspontja, 0,063 mm alatti, 0,063/2 mm és 2/D szemek arányának a vizsgálatával kell elvégezni.

### 4.2 Eljárástechnikai megjegyzések

A bontandó aszfaltot fajtánként elkülönítve, marással kell kinyerni.....Ez által biztosítható a mart aszfalt legmagasabb szintű értéktérítése az eredetéhez képest.....

Az olyan granulátumot, amely többfajta keverékből származik, általában nem lehet kötő- és kopórétegben felhasználni.

©

STRABAG  
TEAMS WORK.

## NÉMET TAPASZTALATI ELŐÍRÁSOK - TL AG-StB ÉS M WA

Egy építés megtervezésekor az építetőnek meg kell állapítania a bontandó anyagok fajtáját, összetételét és környezetre gyakorolt hatását.....

...  
A marás rétegenkénti kiírásával az Építető hozzájárulhat a magas szintű újrahasznosításhoz.

...  
Az olyan granulátum, amelyből a visszanyert bitumen lágyuláspontja ( $T_{90}$ ) középértéken nem haladja meg a 70 °C-t (egyedi értékben 77 °C-t) általában alkalmas újrahasznosításra.

### 1 sz. Függelék (M WA)

A maximálisan adagolható aszfaltgranulátum meghatározása az egyenletesség függvényében

Az egyenletesség megítéléséhez minden megkezdett 500 t-ból mintát kell venni....

©

STRABAG  
TEAMS WORK.

A 14. és 15. ábrán összefoglalom az előttünk álló kihívásokat és felhívom a figyelmet a teendőkre. Természetesen, ahogy én látom. Annyit azonban kiemelek, hogy a keverőtelepi újrahasznosítás, legyen az meleg-, vagy hideg adagolású, a kiírással kezdődik! Csak a megfelelő kiírás, a jogszabályi és műszaki előírásokra vonatkozó háttér megteremtése után beszélhetünk a fenntartható állapotról a „Green Deal”-ről!

14. sz. kép

15. sz. kép

Az ezredfordulón – ahogy már említettem – a nyugati kollégáink inspiráltak minket és ne szégyelljünk most is tanulni tőlük, hiszen jelentősen előttünk járnak tapasztalatokban ezen a téren. A magam részéről a németes előképzettségem folytán német példákkal kívánom néhány dologra felhívni a figyelmet. Először is a 16. sz. ábrán az előírás rendszerük: A Műszaki Szállítási Feltételek és a gyakran nálunk is hivatkozott „Merkblatt”- a nevezzük Magyarázat. Ez utóbbi bizony hasznos dolog, érdemes volna meghonosítanunk ezt a módszert. A dián egyébként kiemelt két-három gondolatot lefordítva a német szövegből, amelyeket különösen fontosnak tartottam. Ugyanílyenek olvashatóak a 17. sz. ábrán is.

16. sz. kép

17. sz. kép



A 18-19. sz. ábrák pedig egy táblázatos összefoglaló az RA agyagok vizsgálatáról majd egy nomogramos kiválasztás segítségével meghatározható maximális meleg visszaadagolási arányt mutatnak be. A konkrét példán ez éppen 40%-ot ad ki. Figyelem! Ez nagyon messze van a gépi lehetőségektől, de közel a technológiai valósághoz.

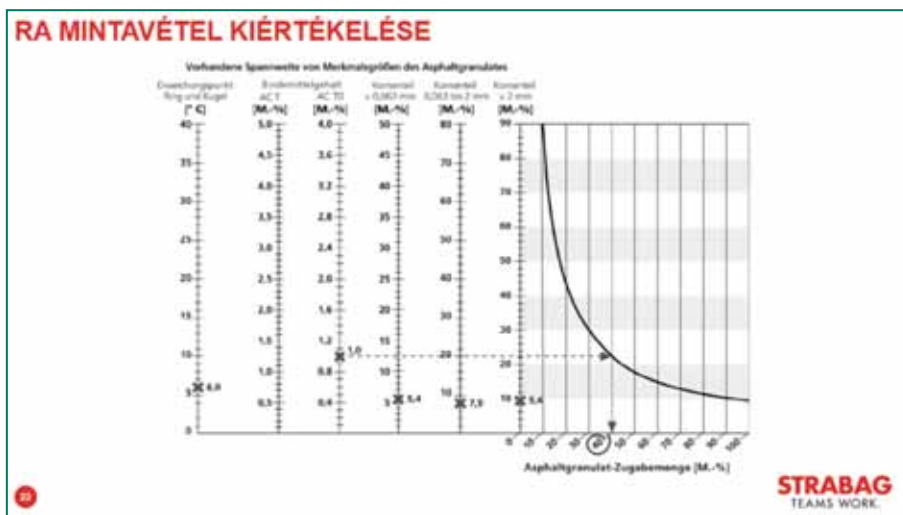
18. sz. kép

**RA MINTAVÉTEL – INGADOZÁSOK MEGÁLLAPÍTÁSA**

Merkmal	Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]	Bindemittelgehalt [M.-%]	Kornanteil < 0,063 mm [M.-%]	Kornanteil 0,063 bis 2 mm [M.-%]	Kornanteil > 2 mm [M.-%]
Probe Nr. 1	67,0	5,0	9,9	37,7	52,4
Probe Nr. 2	62,0	5,8	11,3	35,2	53,5
Probe Nr. 3	64,0	4,9	9,3	29,8	60,9
Probe Nr. 4	68,0	5,9	6,7	31,5	61,8
Probe Nr. 5	66,0	5,1	12,1	33,8	54,1
Mittelwert	65,5	5,3	9,9	33,6	56,5
Spannweite	6,0	1,0	5,4	7,9	9,4

STRABAG TEAMS WORK.

19. sz. kép



A németeknél egy hosszú, több évtizedes folyamat után jutottak el a szabályozás és a gyakorlat jelenlegi szintjére. Az ASPHALT&BITUMEN szakfolyóirat rendszeres olvasójaként folyamatosan találkozom az RA visszaadagolás különböző írsaival, tapasztalataival. A 20. sz. ábra a „Maximalrecycling” címen futó közel 10 évvel ezelőtti kísérlet egy beszámolója Baden-Württemberg tartományból 50-75%-os meleg visszaadagolásról szól. A cikk is felhívja a figyelmet arra, hogy az elején kell megfogni a folyamatot, azaz a depó kialakításával és kezelésével. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy fajtánként elkülönítve történjen a marás és sok-sok külön depón a tárolás a megfelelő végeredmény elérése céljából. Ez az, amihez elengedhetetlen a megfelelő hozzáállás a kiíró és a kivitelező valamennyi egysége részéről.

20. sz. kép

**HOGYAN JUTOTTAK EL A SZABÁLYOZÁSIG**

„A „Maximalrecycling” feltétele nem a nagyméretű depó, hanem a depókezelés.”  
„Keverékeként külön behordva és szárazon tárolt, homogén mart anyag a biztosíték.”

STRABAG TEAMS WORK.

A svájciak is elől járnak az újrahasznosításban. Ők különösen figyelnek a környezetük védelmére, a fenntarthatóságra. A 21. sz. ábra egy 2017-es kísérletük cikkének kivonata látható, amely egy 90%-os alaprétegbe történő visszaadagolás tapasztalatait mutatja be, amit külön adalékolással tudtak elérni.

21. sz. kép

Ugyancsak svájci példa a 22. sz. ábra és szintén a maximális recycling a témája. Ebben már reagáltak a rejuvenátorokról szerzett negatív tapasztalatokra és kifejezetten anélkül, csak lágy bitumen (330/430!) hozzáadagolásával dolgoztak az N2 jelű Gotthard-autópálya felújítása során.

22. sz. kép

Ha már a rejuvenátorokról tartunk, fel szeretném hívni a figyelmet Dr. Knut Johansen ide vonatkozó előadásaira, amelyek megtalálhatóak az interneten, de egyet volt szerencsém meghallgatni a 5. Drezdai Aszfaltnapok alkalmával 2017-ben. Nos, a rejuvenátorokkal óvatosan bándjunk. Az már önmagában jó, ha nem káros az egészségre, ha még emellett valamit segít, örülnünk kell. Nagyon-nagyon kevés ilyen létezik. Ne feledjük egyébként, hogy a bitumenek öregedése egy oxidációt jelent, amely folyamat viszont megfordíthatatlan!

Végezetül a 23. sz. képen egy német SMA recycling mellett egy magyar innovációt említek meg 2020 októberéből, amikor a STRABAG a KTI-vel közösen egy SMA típusú keverékbe történő visszaadagolást próbált ki a gyakorlatban a Magyar Közút kísérleti utak programjának keretein belül az 1.sz. főút tatabányai szakaszán. Ez most az 5-éves megfigyelési időszak első évében jár, de az eddigiek alapján biztatónak tűnik.

23. kép.

Ezekkel a gondolatokkal kívánok a szakmánknak sok sikert a fenntarthatóság, a zöld Európa célkitűzéseinek elérésében!

Szarvady Csaba  
SZTRABAG Általános Építő Kft.

**TAPASZTALATOK**

Additivierung ermöglicht hohen Recyclinganteil

STRABAG TEAMS WORK.

- Hasonló cikkek sokaságával lehet találkozni;
- Nem csak a német területen;
- A világ számos pontján működik az újrahasznosítás magasabb foka;
- A rejuvenátorokról megoszó véleményeket hallani,
- Fontos a kitekintés, a sok-sok tapasztalat felhasználása hazánkban is

**SVÁJCI TAPASZTALATOK EGY 10 KM-ES FELÚJÍTÁSNÁL**

STRABAG TEAMS WORK.

- 7 éves átfutású projekt – 2021 végéig
- A lakosság zavarásának elkerülése érdekében a helyszínre telepítették a keverőt;
- 2019-21 közötti aszfaltozás;
- Lágy hozzáadott bitumennel;
- Rejuvenátor nélkül!

- AC B und T 22 H: PmB 40/80-65, Zapbebitumen PmB 90/150-85,
- AC F 22: B 30-55, Zapbebitumen 330/430
- sowie in allen Füllen, keine Verjüngungsmittel.

**TAPASZTALATOK**

Recycling von SMA

STRABAG TEAMS WORK.

Kísérleti szakasz 1 sz főút Tatabánya – SMA 10 és 20% RA adagolással - 2020 október



## HAPA TAGVÁLLALATAI

**Aszfalt Hungária Kft.**

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

**Budapest Közút Zrt.**

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

**Colas Közlekedésépítő Zrt.**

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

**Colas Út Zrt.**

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

**DÉLÚT Kft.**

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

**Duna Aszfalt Út és Mélyépítő Kft.**

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

**Hazai Építőgépek Társulás Zrt.**

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

**He-Do Kft.**

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

**MOL Nyrt**

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

**OMV Hungária Ásványolaj Kft.**

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

**PENTA Kft.**

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

**„SOLTÚT” Kft.**

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

**Swietelsky Magyarország Kft.**

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

**Útéppark Útépítő és Mélyépítő Kft.**

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

**VértesAszfalt Kft.**

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

## HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

**Ammann Austria GmbH**

Anzing 33  
A-4113 St. Martin im Mühlkreis

**AUMER Kft.**

H-1112 Budapest,  
Reptéri út 2.

**BHG Bitumen Kft.**

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

**BME Út és Vasútépítési Tanszék**

H-1111 Budapest  
Műegyetem rkp. 3.

**Carmeuse Hungária Kft.**

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

**Csillagszer Kft.**

H-3700 Kazincbarcika  
Erdész u. 10.

**EuroAszfalt Kft**

H - 2225 Üllő  
belterület 3753 hrsz.

**EULAB Kft.**

H- 2120 Dunakeszi  
Székesdűlő 135.

**Huntraco Kereskedelmi és Szolgáltató Zrt.**

H-2040 Budaörs  
Kamaraerdei út 3.

**INNOTESZT Kft.**

H - 2225 Üllő  
Zsarókahegy hrsz. 053/30.

**INNOVIA Kft.**

H- 2541 Lábatlan  
Dunapart 1605/2 hrsz.

**ITERCHIMICA S.R.L.**

Via G. Marconi, 21,  
24040, Suisio (BG), Italy

**KONSTRUKTÍV Kft.**

H-1165 Budapest  
Nyílvessző u. 24.

**Mélyépítő Labor Kft.**

H-1144 Budapest,  
Füredi út 74-76.

**Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő**

**Részvénytársaság**  
H-1024 Budapest  
Fényes Elek u. 7-13.

**Omya Hungária Mészkefeldolgozó Kft.**

H-3300 Eger,  
Lesrét utca 71.

**Prímaenergia Zrt.**

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

**Profi-Bagger Kft.**

H - 2051 Biatorbágy  
Tormásirét u. 6.

**Rec-Plus Kft.**

H-3200 Gyöngyös  
Felső-Újvárosi utca 2.

**Rettenmaier Austria GmbH & Co.KG**

A-1230 Wien  
Rudolf-Waisenhorn-Gasse 18.

**RODCONT Útügyi Kutató Fejlesztő Kft.**

H-1221 Budapest  
Orsovai u. 10/a

**Tarnóca Kőbánya Kft.**

H- 2045 Törökbálint  
Torbágy u. 20.

**TPA HU Kft.**

H-1097 Budapest  
Illatos út 8.

**STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.**

H - 1043 Budapest  
Dugonics u. 11

**ÚTLABOR Kft.**

H- 9151 Abda  
Bécsi út 15.

**VIA-PONTIS Mérnöki Tanácsadó Kft.**

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

**Wirtgen Budapest Kft.**

H-2363 Felsőpakony  
Erdőalja u. 1.





ASZFALT HUNGÁRIA KFT.

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

ELÉRHETŐSÉG: TEL: 0036 29-522-200

#### TELEPHELYEINK:

**5561 Békésszentandrás, Külterület hrsz 0247/11**

**4029 Debrecen, Mikepércsi út 0530/80 hrsz**

**2462 Martonvásár, 0152/1 hrsz**

**8800 Nagykanizsa, 0632 hrsz – mobil keverő \***

**7100 Szekszárd, Palánki út 41**

**2225 Üllő, Belterület 3753 hrsz**

**9442 Fertőendréd, külterület 0157/17. hrsz.**

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