



**Pályaszerkezet  
meghatározása  
segítségével;**

**tulajdonságainak  
FWD  
Harmadik  
készülék  
rész:**

## **Pályaszerkezeti rétegek**

**Karoliny Márton**

E-mail: [karolinymarton@hotmail.hu](mailto:karolinymarton@hotmail.hu)

DOI: [10.36246/UL.2025.1.04](https://doi.org/10.36246/UL.2025.1.04)

### **KIVONAT**

A cikksorozat harmadik része az FWD technológia lehetőségeit mutatja be a pályaszerkezet rétegeinek vizsgálatánál. A rétegek vizsgálata az általános állapotértékelésnél és a felújítandó pályaszerkezetek technológiatervezésének megalapozásánál, a megbízói diszpozíciók elkészítésénél ad jó lehetőségeket. A rétegek állapotát befolyásoló, a kivitelezésnél elkövetett hibák vizsgálata is jól lehetséges az ejtősúlyos technológiával.

*Kulcsszavak:* ejtősúlyos berendezés, rétegmerevségek, rétegek tovább használhatósága, minőség-ellenőrzés

### **ABSTRACT**

The third part of the article series presents the possibilities of FWD technology in examining the layers of pavement structures. The analysis of these layers provides valuable opportunities for general condition assessments, for laying the foundation of technological planning for pavement structures in need of renovation, and for preparing client directives. The investigation of errors made during construction that affect the condition of the layers is also effectively possible using the falling weight deflectometer technology.

*Keywords:* Falling Weight Deflectometer (FWD), layer stiffness, continued usability of layers, quality control

### **Karoliny Márton**

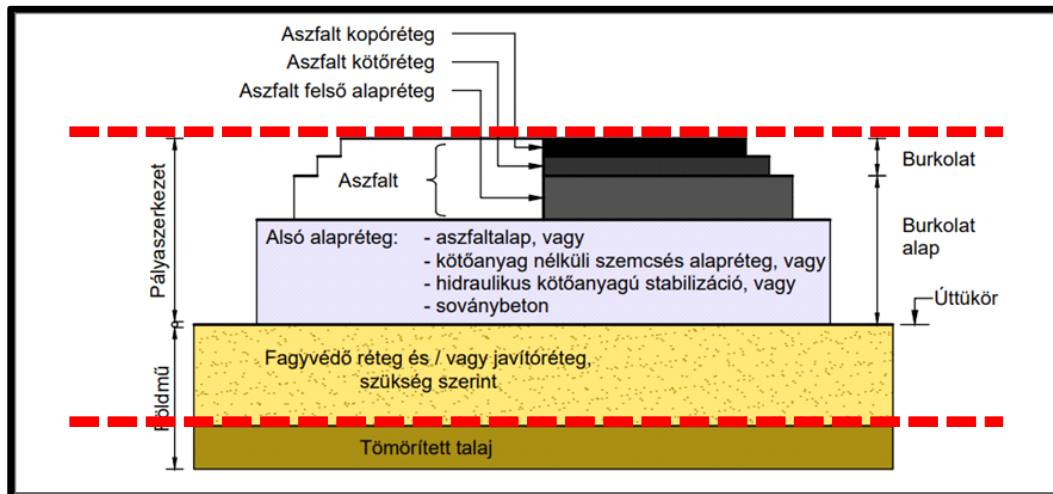
Okleveles építőmérnök, okleveles mérnök-tanár. Hídszakértő, hídtervező. Korábban az állami közútkezelő hidász-mérnöke volt. Elsődleges szakterülete a hídvizsgálat, hidak teherbírás vizsgálata. Okleveles építőmérnök, szakmérnök, mérnök-közgazdász. Jelenleg aktív, szakmai tanácsadással foglalkozó nyugdíjas. Pályájának első részében közútkezelőként (hídmérnök, majd fejlesztési osztályvezető) majd a kivitelező építőiparban műszaki igazgatóként, illetve ügyvezetőként dolgozott. 1993-tól a többszörös átalakuláson átment, ma STRABAG-ként nevezhető konszern technológiafejlesztési, minőségellenőrzési, illetve innovációs egységét vezette 2008-ig, azóta a jelenlegi foglalkozását űzi. Számos konszern belüli és külső megbízásra végrehajtott műszaki fejlesztési projekt vezetésében közvetlenül is részt vett. Alapvető szakmai érdeklődési területe az útpályaszerkezetek méretezési, technológiatervezési és minőségbiztosítási kérdései. Írott publikációinak száma több, mint 50, évente 4-5 konferencián, workshopon előadásokat tart.

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. MIBŐL ÁLL A PÁLYASZERKEZET, AMIT VIZSGÁLNI AKARUNK?

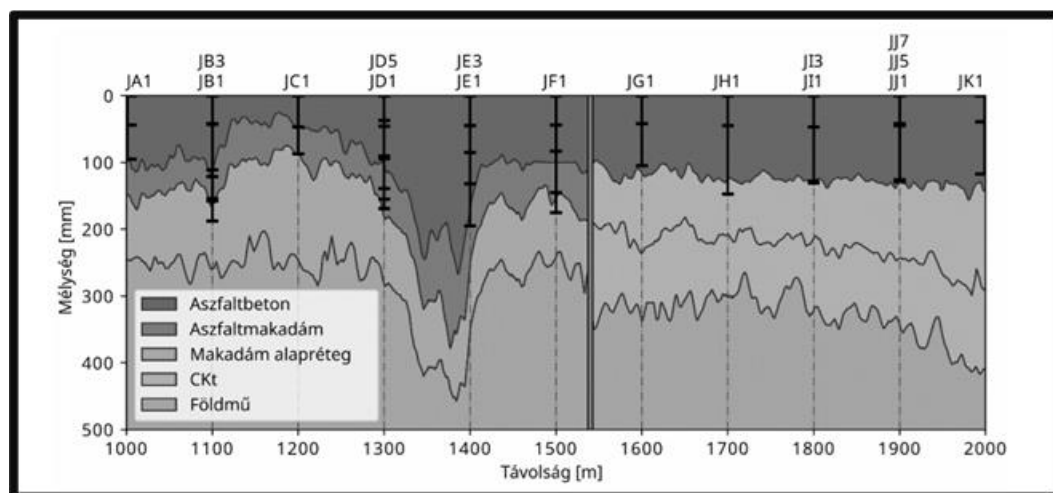
A földműről és a pályaszerkezetről szóló cikkben a földmű fogalmát a hazai konvenciótól **eltérően** definiáltuk.

Ebből következik, hogy a **felette** lévő rész a pályaszerkezet, ami különböző (funkciójú és anyagú) rétegekből áll.



1. ábra: Elméleti pályaszerkezet-felépítés.

A valóság persze kicsit másképpen néz ki, mint a fenti ábra; vizsgáljunk meg az [1] alapján, egy valódi pályaszerkezetet, földradar által készített felmérésben (2. ábra).



2. ábra: Valós pályaszerkezet-felépítés, [1] alapján.

Jól látható, hogy meglévő pályaszerkezeteink felépítése mind a rétegek **anyaga**, mind a **geometriai jellemzői** (vastagsága) szempontjából meglehetősen bizonytalan.

Be kell látni, hogy a valóság bonyolultabb, a **rétegek** szerinti vizsgálódást ezért célszerű olyan útszakaszokon végezni, ahol az előzetes információk kellően **megbízhatók**. Ebből a szempontból a gyorsforgalmú úthálózat előnyben van, ahol az útszakaszok „története” jobban dokumentált.

A rétegeket pedig célszerű anyaguk (és nem funkciójuk) szerint megkülönböztetni, így vannak

- szemcsés rétegek,

- hidraulikusan (cementtel) kötött rétegek,
- aszfaltrétegek,

amelyeknek tényleges képességeit az FWD technológiával vizsgáljuk.

### 1.2. MIÉRT KELL VIZSGÁLNI?

Alapvetően három célból:

- a rétegek általános állapotának jellemzése,
- pályaszerkezet felújítás/megerősítés esetében, tervezési/méretezési inputadatok gyűjtése,
- különleges feladatok (pl. kutatás, speciális, főleg jóállási ügyekben adatgyűjtés, fejlesztési feladatok) megalapozása.

Az általános állapotjellemezésre az országos közúthálózaton szabályozott [2] körülmények között rendszeresen sor kerül. A lényegesen hosszabb helyi közúthálózaton ezt nem hajtják végre; ezt pedig a használat és a gazdálkodás sínyleti meg.

A felújítás/megerősítés érvényes szabályozása [3] a központi behajlásértéken alapul, ezáltal nem képes a pályaszerkezeti rétegeket külön-külön értékelni, továbbá, alap esetben, a pályaszerkezet vastagításával (ráépítéssel) operál.

A „különleges” feladatok esetében, a szakértő eszközeit és a meteorológiai körülményeket maga választja meg.

Jelen írás alapvetően a gyorsforgalmú úthálózaton a rétegek állapotértékelését és a felújítási esetekben, a közútkezelő/tervező páros számára hasznos információk nyújtását tűzi ki céljául.

## 2. NAGYKÉP: PÁLYASZERKEZETEK ÁLLAPOTÁNAK JELLEMZÉSE A RÉTEGMEREVSÉGEKKEL

A behajlásméréssel meghatározott teknőadatokból lehetséges a pályaszerkezeti rétegek merevségének meghatározása; erre számos szoftver és/vagy a teknőadatokból levezetett képlet használható.

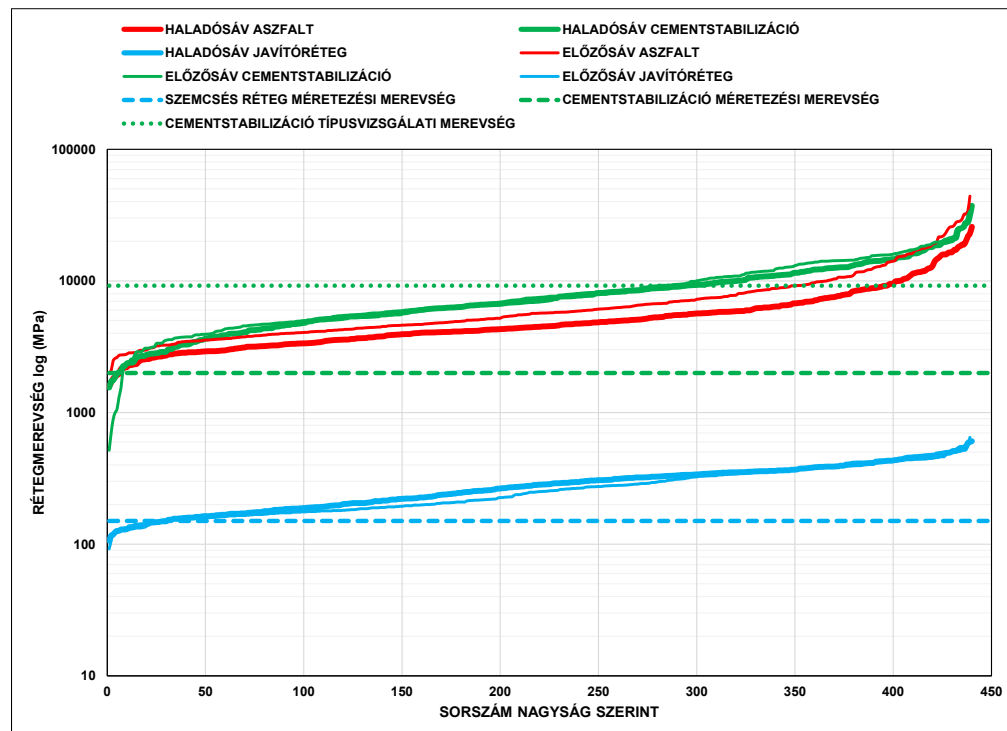
Megjegyzendő, hogy minden ezzel foglalkozó eljárás meglehetősen érzékeny a rétegvastagságokra, de a választott gyorsforgalmi elemek esetében, a számított merevségértékek – a nagyszámú mérési pont miatt – a roncsolásos eljárásoknál reprezentatívabbak lehetnek.

Az így nyert adatok alkalmasak általános értékelésekre, illetve részletesebb elemzésekkel, fontos szakmai döntések megalapozására.

Mindezek bemutatásához három autópályaszakasz behajlásmérési eredményeit használjuk fel. Itt előnyös, hogy a forgalmi sávok eredeti tulajdonságai jellemzően azonosak és a terhelt/nem terhelt sávok összehasonlítása hasznos információkhoz segít hozzá.

### 2.1. ÚJ ÁLLAPOTÚ PÁLYASZERKEZET

Egy gyorsforgalmi úton, az átadás előtt lehetőség nyílt valamennyi forgalmi sávon behajlásmérésre; ennek alapján készült el a 3. ábra.



3. ábra: Új pályaszerkezet rétegeinek visszaszámolt merevsége.

Az új állapotú pályaszerkezetekre vonatkozó következtetések a következők:

- jól felismerhető, hogy még nincs különbség a sávok között, a merevségek vonalai gyakorlatilag összeérnek mind a haladó, mind pedig az előzősávon,
- vegyük észre, hogy mind a cementstabilizáció, mind pedig a szemcsés réteg esetében, a tapasztalt merevségek a tervezési (méretezési) értékeket *lényegesen* meghaladják,
- a cementstabilizáció visszaszámított merevsége ugyanakkor a típusvizsgálatban megadott szilárdsági értékből számítható merevségtől érdemlegesen elmarad.

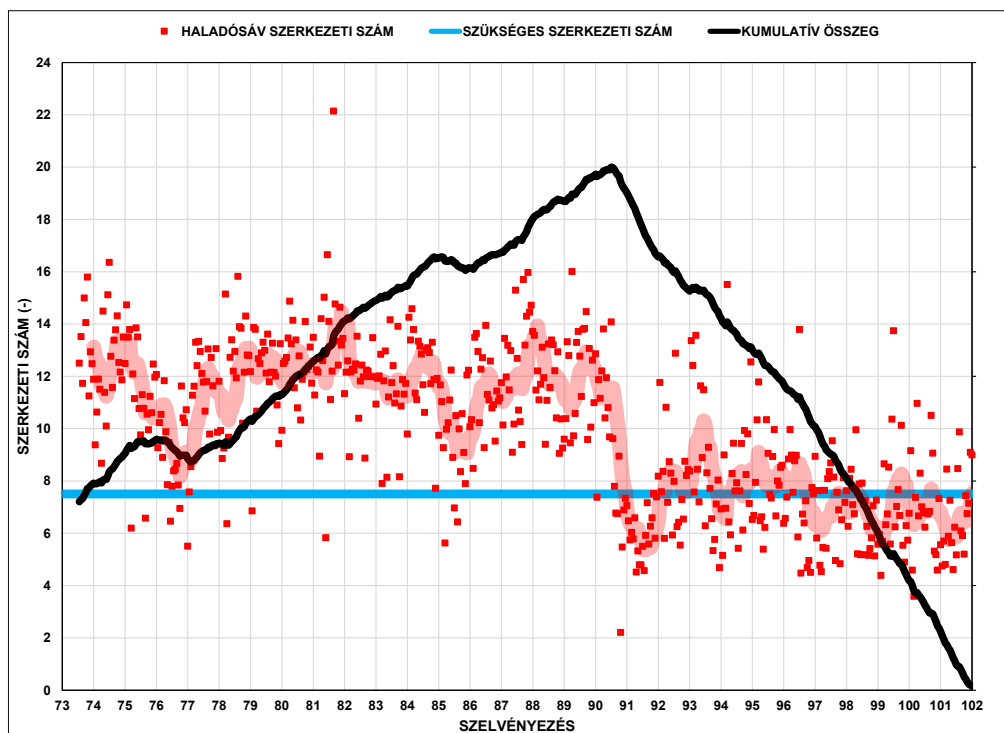
Mindezekre a későbbiekben még visszatérünk.

## 2.2. AZ „ÉLETE DELÉN” JÁRÓ PÁLYASZERKEZET

A 4. ábra kiugróan nagy forgalomfejlődést „átélő” autópályaszakaszon, a behajlásértékekből meghatározott **szerkezeti számokat** mutatja be, a haladósávra vonatkozó kumulatív összeggel együtt.

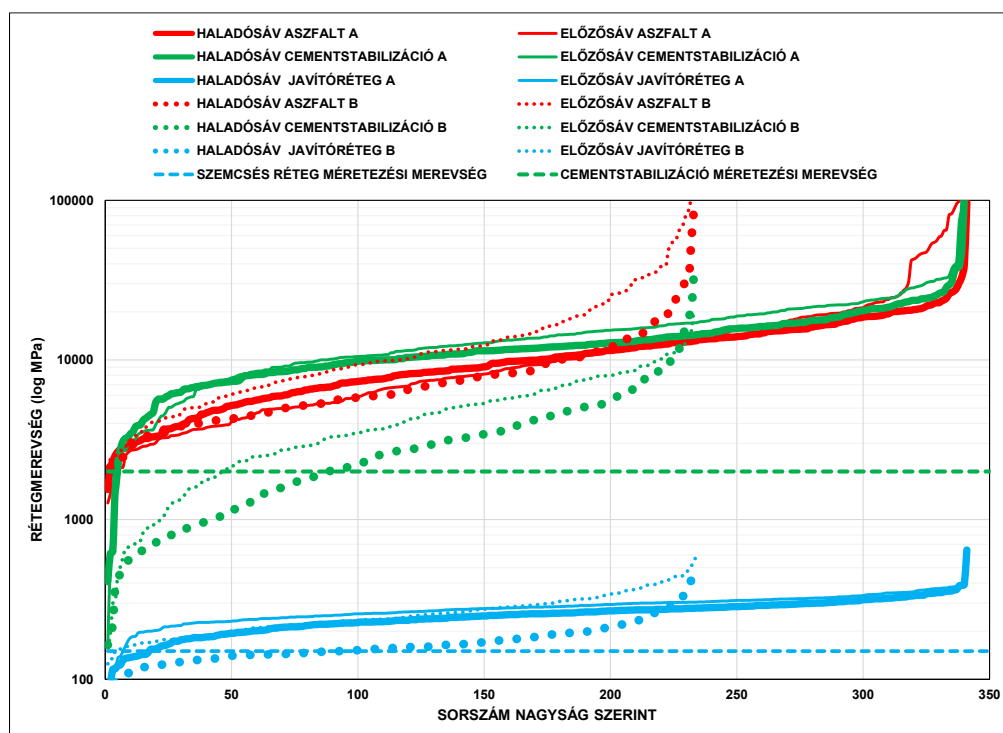
A szakasz lényeges tulajdonságai a következők:

- a teljes szakasz nehéz forgalma **azonos**,
- a szakaszon az eredeti tervezési forgalom közel másfélszerese futott le, a tervezési időtartam kb. 80 %-a alatt,
- a teljes szakasz a kiépítéskor a kumulatív összeg szelvényhatárainak megfelelő részszerkezetekben épült (azaz külön vezetővel és kivitelező csoporttal),
- valamennyi pályaszerkezeti réteg ugyanolyan összetétellel és keverékeik azonos keverőtelepen készültek, a keverékeket ugyanaz a géplánc építette be → az esetleges különbségek emberi/vezetési dolgokra vezethetők vissza.



4. ábra: Szerkezeti számok „élete delén” járó autópályaszakaszon.

Jól látható, hogy a kumulatív összeg a vizsgált szakaszt két, egymástól jelentősen eltérő részre osztja. Az első részen a szerkezeti számok a szükséges értéket nagymértékben meghaladják, a másodikon lényegesen alacsonyabb értékeket mutatnak. Vizsgáljuk meg az egyes rétegek merevségeinek részzszakaszonként külön-külön sorrendbe állított értékeit.



5. ábra: „Élete delén” járó pályaszerkezet rétegmerevségei.

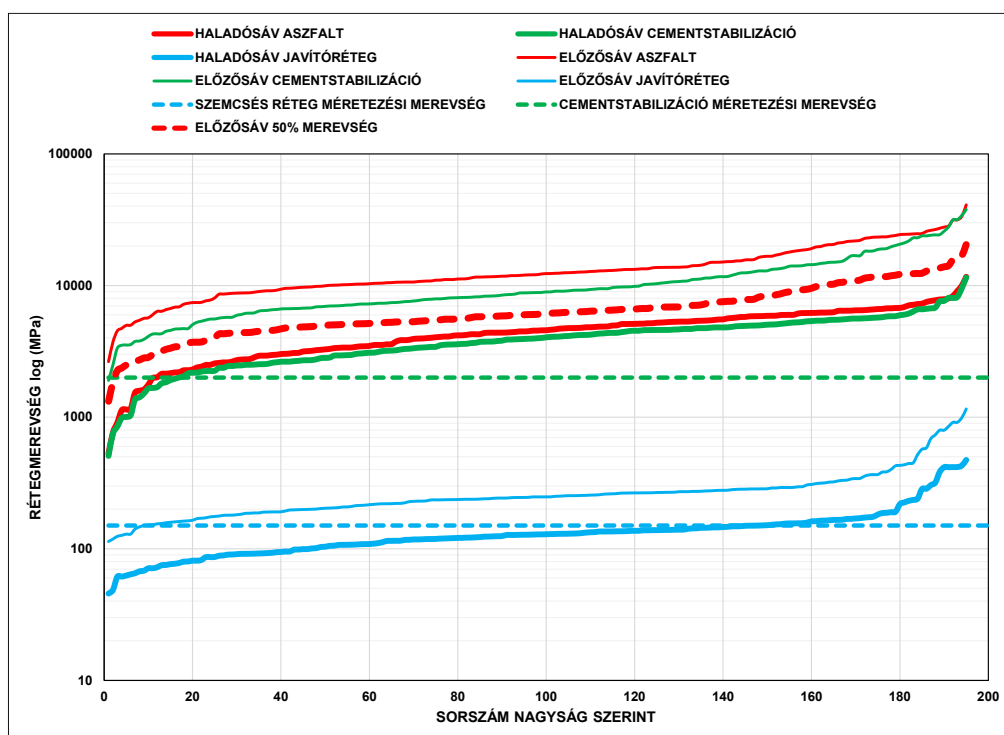
Az 5. ábra alapján levonható fő következtetések:

- az „A” (magasabb szerkezeti számot mutató) szakaszon az említett, lényegesen nagyobb forgalomnövekedés ellenére, mindhárom rétegnél a terhelt rétegek merevsége meglehetősen közel van a nem terhelt rétegekéhez, azaz a **fáradás nem jelentős**,
- a „B” szakaszon a cementstabilizáció merevsége nagymértékben alatta marad az „A” szakaszon tapasztaltaknak, mind a terhelt, mind pedig a terheletlen sávon (megjegyzendő, hogy a mérési pontok közel 40%-ánál a merevség a méretezési értéknél **kisebb**, ami kiugróan rossz eredmény),
- a szemcsés réteg merevsége a „B” szakaszon nagymértékben elmarad az „A” szakaszétól és a méretezési merevséget nem kevés helyen alulmúlja.

Ezek az eredmények magyarázatot igényelnek, további információk birtokában.

### 2.3. ELHASZNÁLÓDOTT PÁLYASZERKEZET

Végül vizsgáljuk meg (alapvetően a haladósávon) elhasználdott pályaszerkezet rétegmerevségeit.



6. ábra: Elhasználdott pályaszerkezet rétegmerevségei.

A levonható következtetések:

- mindhárom rétegnél határozott különbség látható a „használt” és a „nem használt” sávok merevségértékei között, ami nyilvánvalóan, a sokkal nagyobb terhelésszám miatti **fáradás** következménye,
- a cementstabilizációs és részben a szemcsés réteg merevségei jellemzően **nagyobbak**, mint a méretezésnél használt értékek.

Az eddigi – hasznos – következtetéseken túl, további fontos tények tárhatók fel, némi pályaszerkezet-mechanikai ismeret hasznosításával.

### 3. AZ EGYES RÉTEGEK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI

A „nagykép” után vizsgáljuk meg a részleteket is, és anyagonként tárjuk fel, hogy az FWD technológia segítségével, milyen további információkat nyerhetünk.

Ezek a következők:

- a rétegre vonatkozó (forgalmi és meteorológiai) igénybevételek,

- a réteg anyagára vonatkozó **anyagtörvények** sajátosságai,
- az igénybevételekkel szembeni, az FWD-vel meghatározható ellenállási képességek.

A pályaszerkezetméretezési gyakorlat ma a szilárd (rugalmas) anyag, a jellemzően két-irányban végtelen többrétegű lemez feltételezésével él. A határkritérium pedig a rugalmas állapot megszűnése.

Ezek a feltételezések sok szempontból nem igazak, de segítségükkel, alapvető információk megszerzésére, viszonylag egyszerű eljárások alkalmazhatók.

Az egyes rétegekben a **járműterhelésből keletkező** hatások (feszültségek/alakváltozások) a behajlási teknő adataiból számíthatók [4], [5].

Meteorológiai terhelések (ezek alapvetően hőmérsékletváltozások) a hidraulikus kötőanyagú és az aszfaltrétegeknél jelentkeznék.

A jobb érthetőség kedvéért, a szerző szintetikus pályaszerkezet-gyűjteményt hozott létre, amelyben a legfontosabb (járműterhelésből származó) igénybevételek és az anyagtulajdonságokból számítható **ellenállási képességek** számíthatók.

Az eredményeket a hazai érvényes forgalmi kategóriákhoz kapcsolható, **megengedett behajlások** függvényében lehet ábrázolni, ezeket mutatjuk be a következőkben.

### 3.1. SZEMCSÉS RÉTEGEK

Hazai gyakorlatunk a szemcsés rétegeket leginkább a védő/javító funkcióban használja, és a meglévő pályaszerkezetek esetében, jellemzően nem foglalkoznak vele külön; látni fogjuk, hogy ez a gyakorlat hibákhoz vezethet.

#### 3.1.1. MILYEN A SZEMCSÉS RÉTEGEK MECHANIKÁJA?

A szemcsés rétegek pályaszerkezeti viselkedése alapvetően empirikus képleteken, eljárásokon alapul [6].

Vizsgáljuk meg a **szilárd és a rugalmas hipotézis** érvényességét szemcsés rétegen. A szemcsés rétegen két mérési pontot jelöltünk ki, és könnyű ejtősúlyos berendezéssel ismételt ejtéseket hajtottunk végre. A behajlásokból számított rétegmerevségeket a 7. ábrán tüntettük fel.

A piros kiegyenlítővonallal rendelkező pontthalmaz „felkeményedési” folyamatot mutat. Ez ismert a hazai gyakorlatban, a HUMU [7] a pályaszerkezetek megerősítésénél, a **meglévő** szemcsés alaprég egyenértékűtényezőjét **magasabbra** határozta meg, mint az új esetben, figyelembe véve a „tömörödést”.

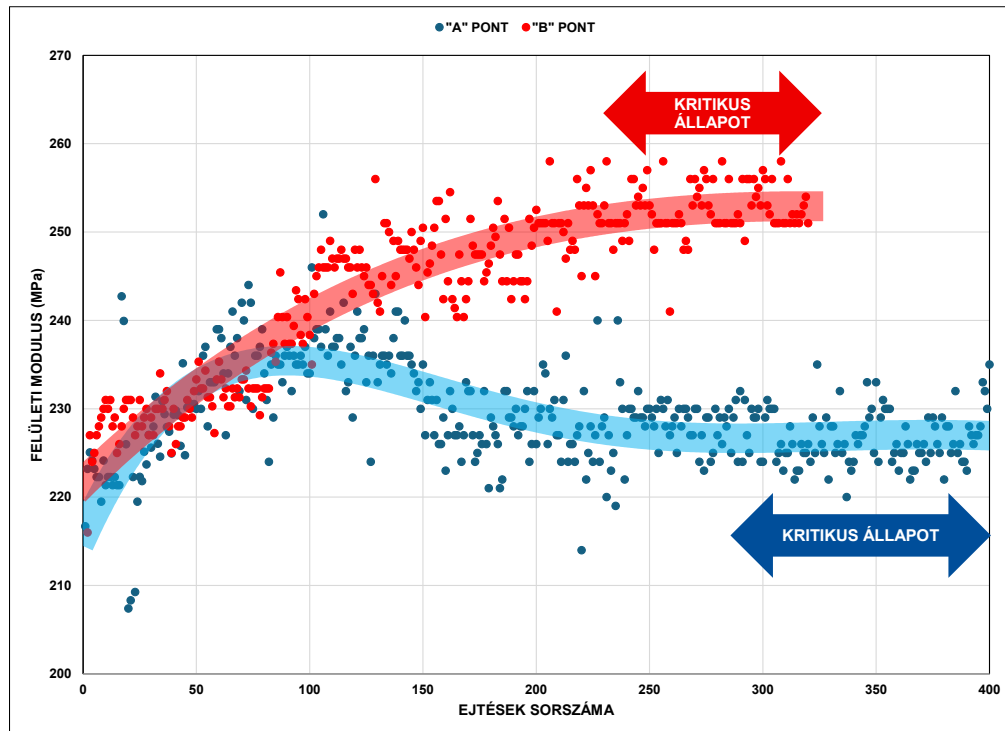
Az „A” (kék színű vonal) pontthalmaza esetében, a merevség először **növekedett**, majd csökkenés után állandó érték alakult ki.

Nos, ez a viselkedést a **szilárd anyag** feltételezés nem tudja megmagyarázni, a szemcsés szerkezetek **más modell** szerint viselkednek; többféle megközelítés ismeretes [8]. A legjobban kidolgozott és validált modell az úgynevezett **hipoplasztikus** anyagtörvény, aminek frappáns bemutatását [9] tartalmazza.

A szemcsés szerkezetek speciális tulajdonságainak felsorolásából – a [10] alapján – néhányat kiemelünk:

a deformáció **nem rugalmas**, azaz a terhelés és annak eltávolítása után, **a szemcseszerkezet alakja megváltozik**,

elég nagy monoton, nyírási deformáció után (állandó nyomással) a szemcseszerkezet **térfogata** már nem változik; ezt az állapotot **kritikusnak** nevezik,



7. ábra: Szemcsés réteg merevségének változása, ismételt terhelések hatására.

- mivel a szemcsés szerkezet **nem rugalmas**, merevsége a deformáció történetétől függ, a korábbi történések „emléke” elvész, azaz **nincs a szilárd testeknél értelmezhető fáradás**.

Az anyagtörvény segítségével a fenti tulajdonságok szemcsés szerkezetre vizsgálhatók és tervezhetők, amivel a réteg teljesítményét (merevségét és deformációmentességét) reális tartományban fokozni lehet.

Nem véletlenül az útpályaszerkezetek kapcsán is folynak kutatások a használatra [11], de az egyre szaporodó térkőburkolatok szemcsés alaprégeinél – lásd a 8. ábrát – is szükség lenne szakmailag megalapozottabb megoldásokra, ez az elmélet arra is alkalmas.



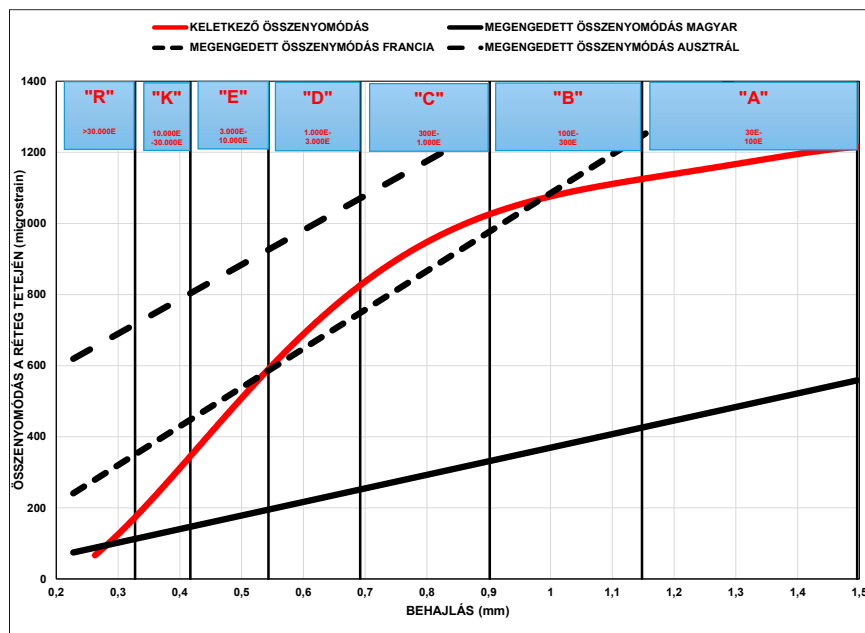
8. ábra: Térkőburkolat alatti szemcsés alaprég tönkremenetele.

### 3.1.2. SZEMCSÉS ALAPRÉTEGEK TOVÁBBHASZNÁLHATÓSÁGA

A szemcsés anyagok (földmű, javítórég, alaprég) esetében a pályaszerkezet-méretezés szempontjából igénybevételnek a réteg felületén keletkező összenyomódást (fajlagos alakváltozás)



tekintjük. Határigénybevételnek pedig jellemzően empirikus eredetű képlettel meghatározható, **megengedett összenyomódást** [12] használunk. Ezeket lehet a 9. ábrán tanulmányozni. Az ábrán – összehasonlításként – feltüntettük az érvényes francia és ausztrál szabályozás hasonló értékét, a megengedett tengelyterhelés megfelelő korrekciójával.



9. ábra: Szemcsés réteg igénybevétele és tönkremeneteli kritériuma.

Megvizsgálva a 9. ábrát, azonnal feltűnik, hogy a forgalmi terheléshez tartozó hazai, megengedett összenyomódás **jóval kisebb**, mint a behajlási teknő alapján számított, azaz a kritérium **nem teljesül** (ugyanakkor a két külföldi előírás megfelelőnek látszik). Meglévő pályaszerkezetek esetében, ez azt jelenti, hogy a ma használt behajlási kritérium **nem biztosítja** a szemcsés rétegek deformációellenállását; itt további vizsgálatokra és elemzésekre van szükség.

Az Útügyi lapokban közelmúltban jelent meg egy írás, amely a kérdésnek a hazai szabályozásokban levő elégtelen előírásokat kritizálva, mutat be a hipoplasztikus anyagtörvényen alapuló korszerű eljárást, amelynek tanulmányozását javasolja a szerző.

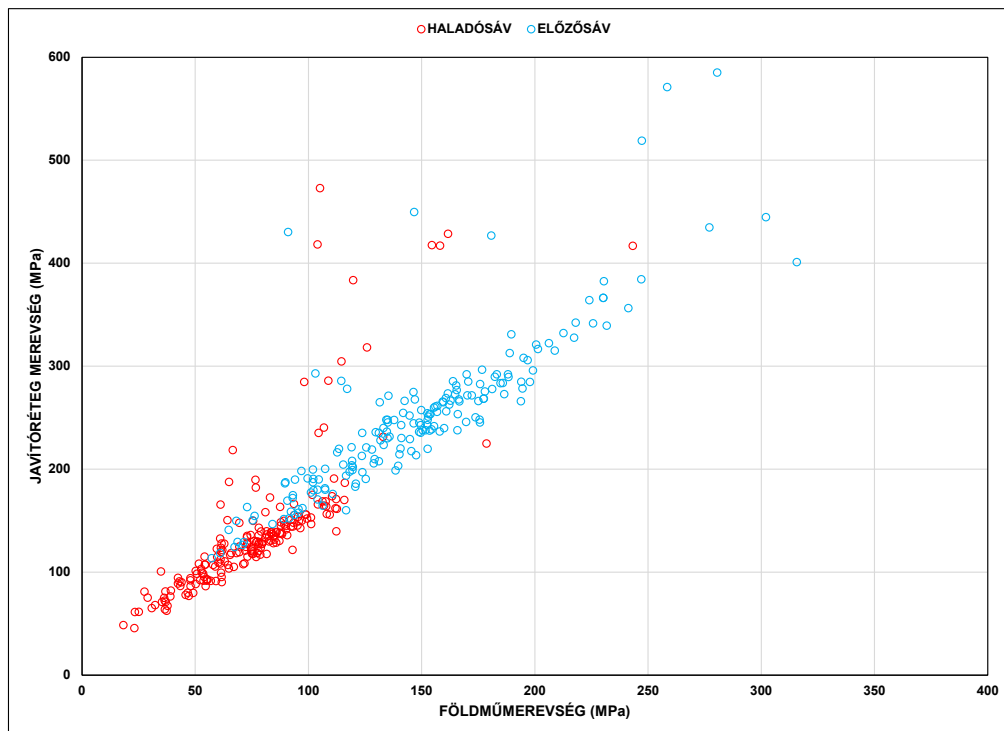
### 3.1.3. SZEMCSÉS ALAPRÉTEG TOVÁBBHASZNÁLHATÓSÁGA

Meglévő pályaszerkezeteink esetében kézenfekvő lehet a vizsgált réteg **továbbhasználhatósága**, azaz képes-e károsodás stb. nélkül elviselni a **további** terheléseket.

A kérdés a hazai gyakorlatban ellenőrizhető módon viszonylag ritkán fordul elő [14] egy, a tervezést megalapozó vizsgálat eredményeihez lehet kapcsolódni.

A 7. ábrán szereplő autópályaszakasz az előző hivatkozásban „érintett” volt, a diszpozíció a szemcsés (és a később tárgyalandó) cementstabilizáció eltávolítását javasolta.

Megjegyzendő, hogy a kérdést számos egyéb (forgalomtechnikai, a teljes pályaszerkezet gazdasági vizsgálatával is alátámasztott cseréje stb.) tényező is befolyásolta, de a meglévő gyorsforgalmi utak esetében, sok hasonló helyzet miatt, néhány szempontra érdemes kitérni.



10. ábra: Földmű és javítóréteg merevségének kapcsolata élettartama végén járó autópálya esetében.

A 10. ábrán világosan látszik, hogy az előzősávon lényegében hiánytalanul, a haladósávon pedig a mérési pontok jelentős részében a szemcsés réteg **merevsége** kellő mértékű.

A kockázatosnak tekinthető helyeken, a nem megfelelő értékek a **földmű** nem kielégítő képességére utalnak, azaz az alacsonyabb földműmerekesség a szemcsés réteg alacsonyabb merevségének oka. Ezeken a helyeken további vizsgálatok és/vagy a földmű javítását célzó intézkedések szükségesek. Ugyanakkor a teljes javítóréteg eltávolítása (természetesen, pl. geometriai szempontok is létezhetnek) **nem tűnik gazdaságosnak**.

Vegyük azt még figyelembe, hogy a szemcsés rendszerek tulajdonságait leíró hivatkozásban [10] szerepel, hogy:

a szemcsés rendszerek **nem fáradnak**, tehát ez nem ad okot a „cserére”,

a szemcsés rétegek az eredeti beépítés és a forgalmi terhelés hatására, nagy valószínűséggel, a **kritikus állapotba** kerültek, további térfogatváltozásuk (keréknyomképződés) nem valószínű,

a felette lévő rétegek esetleges eltávolítása után a réteg újra tömörítése (megfelelő vizsgálatok után) a kritikus állapot elérését lehetővé teszi.

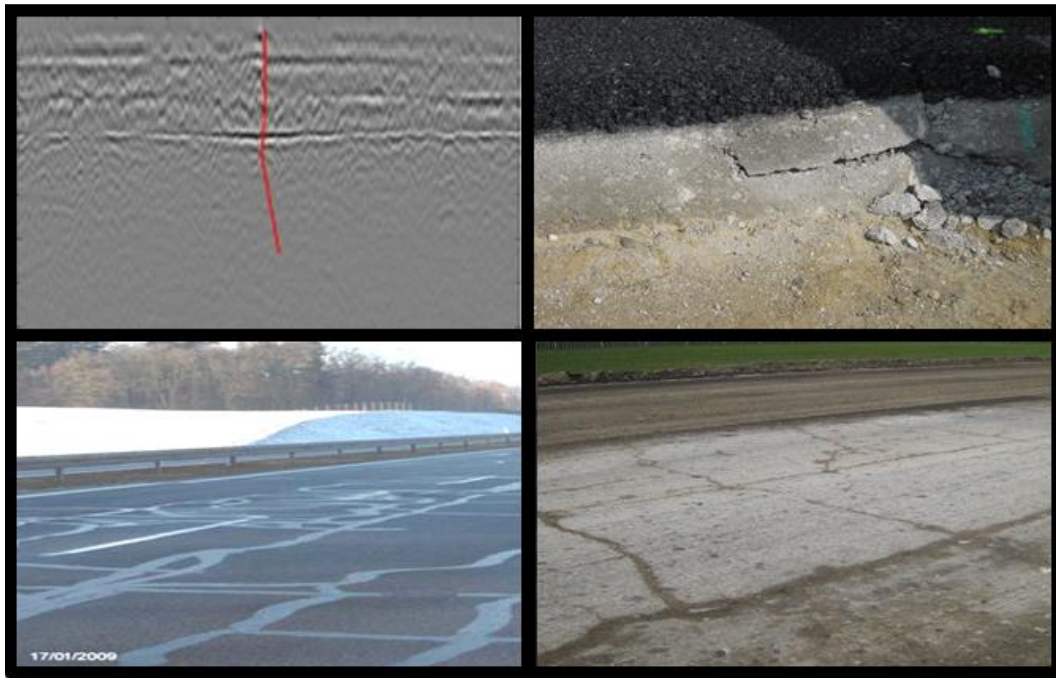
Ezen elméleti jellegű megfontolások után, ismételten felhívjuk a figyelmet arra, hogy hazai korábbi szabályozásunk [7] lényegében ezeket figyelembe vette. Azaz mérési eredményeink alapján, csak a réteg tulajdonságait nézve, sokkal gazdaságosabb megoldásra van lehetőség.

### 3.2. HIDRAULIKUSAN KÖTÖTT RÉTEGEK

A hidraulikusan kötött rétegek, alapréteggént, a motorizációval együtt kiépülő pályaszerkezetekben nagy karriert futottak be.

Ezek viselkedését a hazai szakirodalom főleg Nemesdy [15] alapján ítélte meg, aki az akkoriban szokásos cementadagolás mellett egy hálósan összeropedezett, kvázi hajlékony, jó teherbírású alaprétegről írt, mivel ekkor a cementstabilizáció a mai cementadagolás fele körüli értékekkel készült.

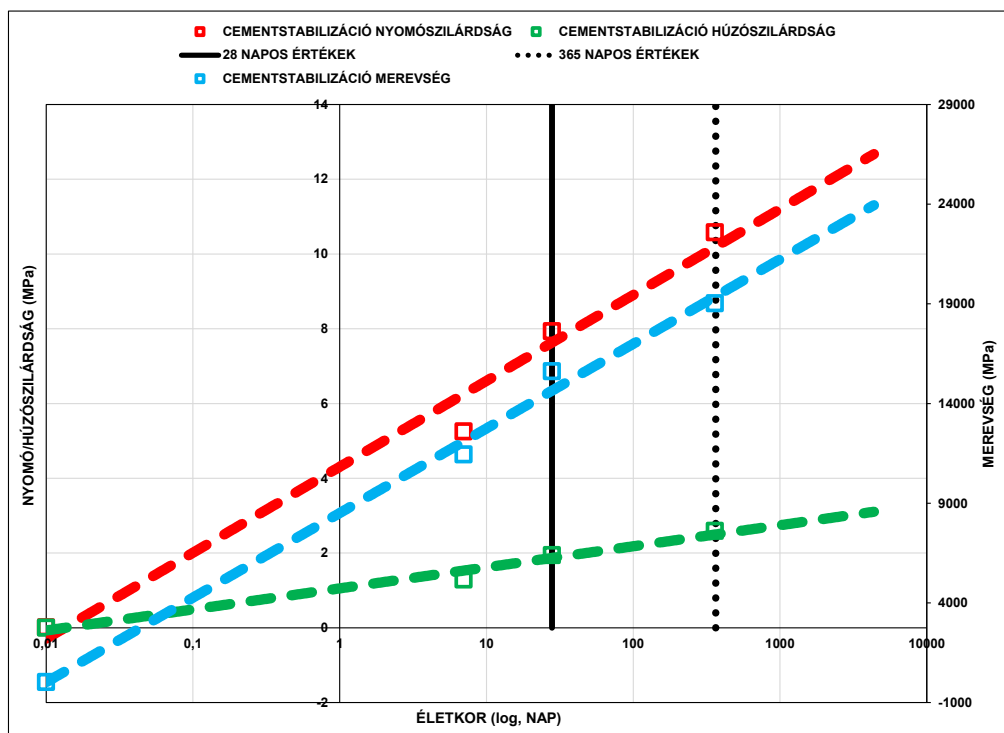
Az utolsó évtizedekben a lehetséges keverék választék a hazai gyakorlatban az egyre nagyobb cement adagolású, egyre igényesebb adalékot igénylő típusok irányába tolódott. Ezek ugyanakkor számos, a hidraulikus kötéstől származó problémát felerősítettek. A 11. ábrán ezen problémák egy része felismerhető, a „félíg merev, félíg hajlékony” hipotézist megkérdőjelezve.



11. ábra: Tönkrement, hidraulikus alapréttegű pályaszerkezetek.

### 3.2.1. A CEMENTSTABILIZÁCIÓ SZILÁRDSÁGI JELLEMZŐI

Hazai gyakorlatunkban a hidraulikusan kötött alaprétegek (egyébként előírásaink szerint is nagyon gazdag) választékából a C  $\frac{3}{4}$  szilárdsági osztályú a legelterjedtebb, ezért ennek szilárdsági jellemzőit mutatjuk be.



12. ábra: Cementstabilizáció szilárdsági jellemzőinek változása, a beépítéstől kezdve.

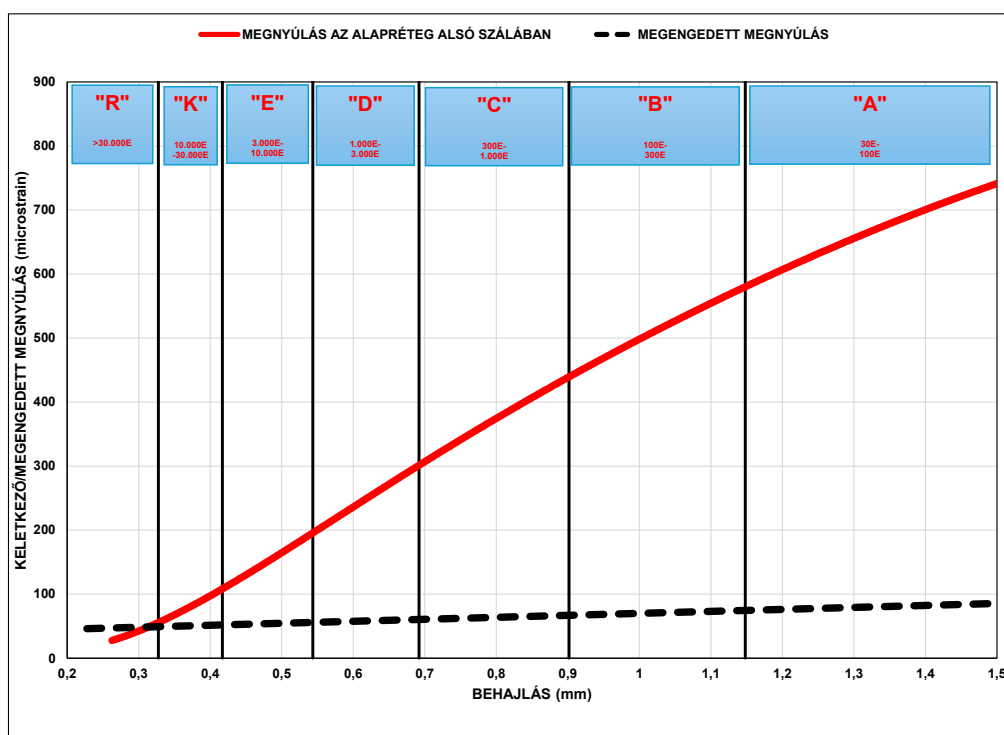
A 12. ábrán egy nagyobb építésnél készült próbatestek átlagszilárdságából számított merevségek és nyomó/húzószilárdságok láthatók. A különböző időpontokban végrehajtott törésvizsgálatok egyértelmű, a szokásos 28 napon túl is folytatódó értékeket mutatnak; ez szakmánkban ismert, de gyakran figyelmen kívül hagyott jelenség. Felhívjuk a figyelmet a valós eredmények jelentős szórására.

### 3.2.2. CEMENTSTABILIZÁCIÓ IGÉNYBEVÉTELEI

A cementstabilizációt hazai méretezési gyakorlatunk **húzószilárdság nélküli** anyagként kezeli, ami azt jelenti, hogy a pályaszerkezet-méretezésben nincs kritérium a húzószilárdság túllépésére, azaz viszonylag alacsony merevségértéket vesznek a méretezésnél figyelembe. Ez látható a három autópályaszakasz merevségeit bemutató ábrán.

A nemzetközi gyakorlatban nagyon hasznos módszert ismertet a [16], ahol bármelyik hidraulikus kötőanyagú réteg megengedett megnyúlása a réteg merevségének és a terhelések darabszámának függvényében számítható.

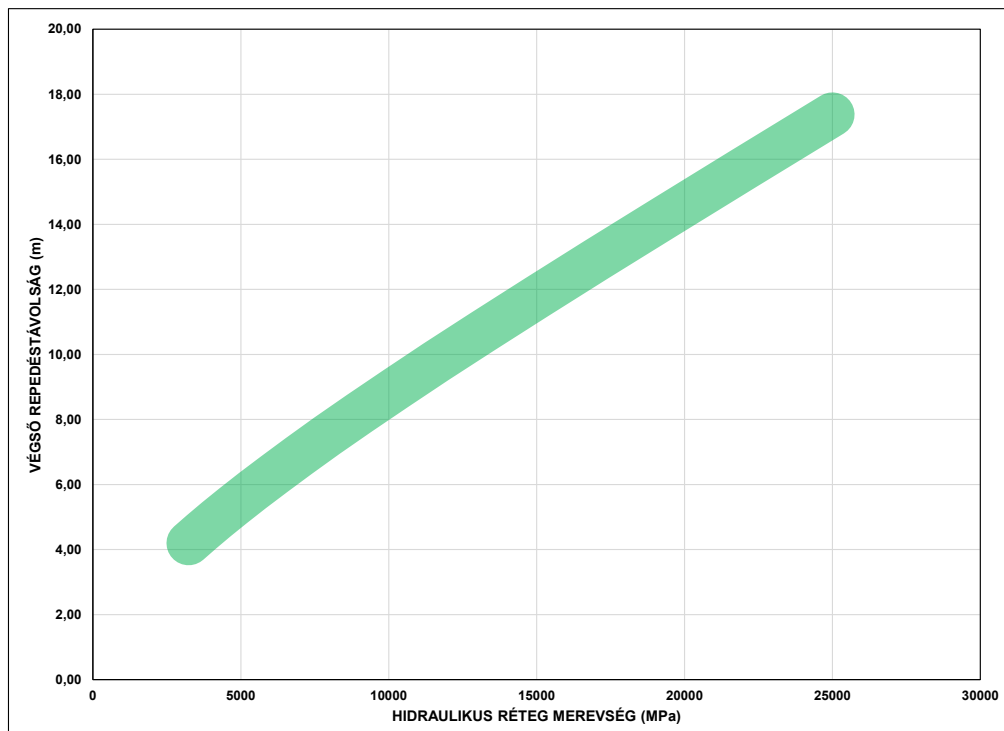
A 13. ábrán a már ismert diagramformában feltüntettük a keletkező és a hivatkozott (ausztrál) szabályozás szerinti megengedett megnyúlásértékeket; látszik, hogy a forgalmi kategória behajlásaihoz a megengedettnél jóval nagyobb **számított** megnyúlás tartozik. Ez lényegében altámasztja a húzószilárdság nélküli koncepciót, legfeljebb az a kérdés merül fel, hogy akkor miért alkalmazunk érdemi húzószilárdságra is képes keverékfajtát.



13. ábra: Cementstabilizáció igénybevétele a járműterhelésből és a határigénybevétel.

A járműterhelésen kívül nagyon jelentős hatása van a meteorológiai terhelésnek, ezen belül a **hőmérsékletváltozásnak**. A [8] szerint a hőmérsékletváltozás osztódási folyamatot generál, ami alapvetően **keresztirányú** repedéseket eredményez.

A [17] alapján végrehajtott számítás mutatja, hogy a hazai anyagok, meteorológia stb. függvényében az osztódás kb. 4 és 15 m közötti repedéstávolságnál **befejeződik**, ahogyan a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra: Hidraulikus réteg végleges repedéstávolsága, a rétegmerevség függvényében.

### 3.2.3. CEMENTSTABILIZÁCIÓ TOVÁBBHASZNÁLHATÓSÁGA

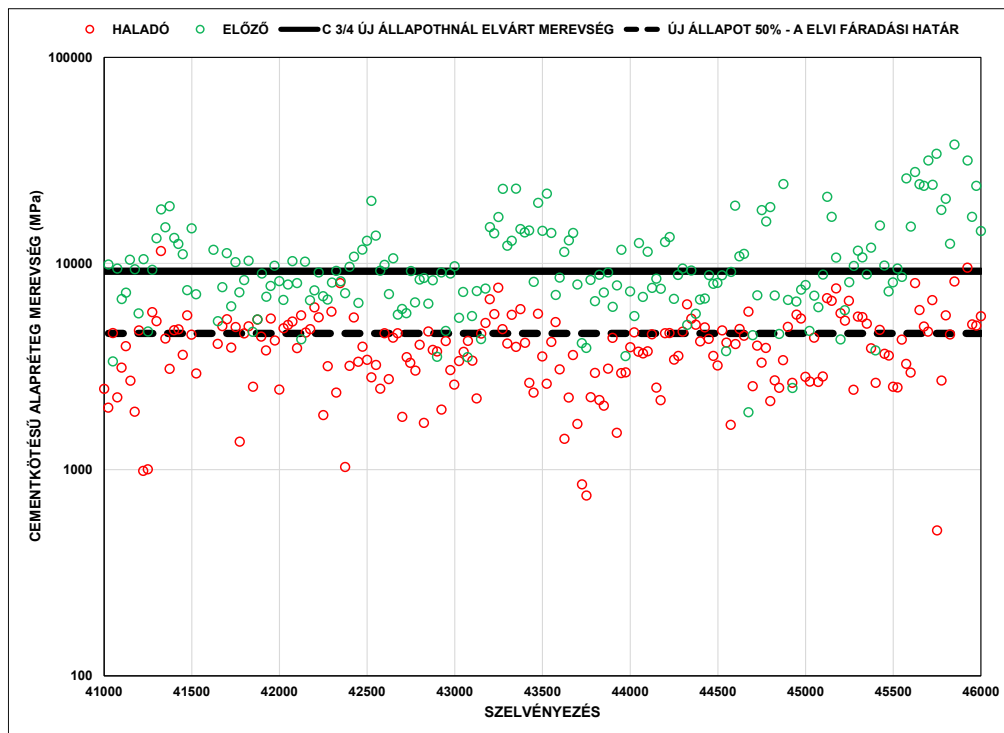
Hazai gyakorlatunkban felújítási/megerősítési feladatok esetében nagyon ritkán fordul elő, hogy a cementstabilizáció külön vizsgálat tárgya lenne, a már hivatkozott [14] esetben a hidraulikus réteg eltávolítására tettek javaslatot. Vizsgáljuk meg a 6. ábrán szereplő gyorsforgalmi szakaszt ebből a szempontból.

#### 3.2.3.1. Meteorológiai igénybevételek

A 14. ábrán látható, hogy a hidraulikus alapréteg „osztódásos” repedéseinek van korlátja, azaz a folyamat egy idő után befejeződik; ez az idő, a számítás érzékenységvizsgálata alapján, lényegesen rövidebb, mint a járműterhelésből bekövetkező fáradás miatti repedések megjelenéséig eltelő idő. Ebben az esetben mindkét sávon kellően hosszú idő telt el ahhoz, hogy további osztódás ne következzen be. Ez pedig azt jelenti, hogy a statikai váz végleges, a mérésekből számítható merevségek emiatt már nem változnak.

#### 3.2.3.2. Merevségek

A 6. ábrán látható merevségek most a szelvényezés függvényében, néhány kiegészítő adattal együtt vizsgálhatók a 15. ábrán.



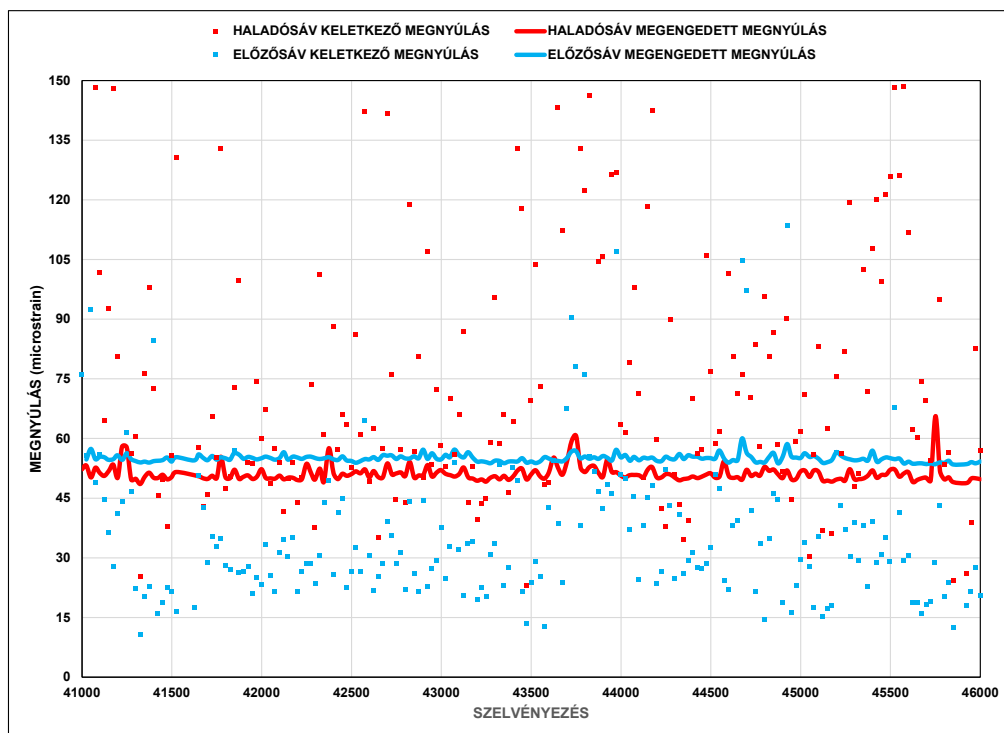
15. ábra: Elhasználódott autópálya hidraulikus rétegeinek merevségi viszonyai.

A 15. ábrán jól felismerhető, hogy a haladósáv merevségértékei lényegesen alacsonyabbak. Az eredeti alaprég keverékadatai nem ismertek, ezért, referenciaként a CKt 3/4 szilárdsági osztály minősítő szilárdságából számítható merevségértéket, továbbá ennek 50%-át is feltüntettük. Jól látható, hogy az előzősáv merevségei egyrészt átlagosan a minősítő merevséget elérik, másrészt **nagyobbak**, mint az elvi fáradási határ (50%) értékei. Mindezekből adódóan:

- az előzősáv rétege kellő biztonsággal **továbbhasználható**,
- a haladósáv esetében az eltávolítás/újépítés **megfelelő** döntés lehet.

### 3.2.3.3. Meglévő alaprég további járműterhelése

A [16] alapján számítottuk a haladó és az előzősáv további járműterhelése esetére megengedett megnyúlás értékét. A 16. ábrán tanulmányozható, hogy az előzősáv megengedett megnyúlása magasabb, mint a számított, tehát a sáv továbbhasználatra **alkalmas**. A haladósáv hasonló értékei a merevségértékekből levonható következtetéseket alátámasztják. Látható, hogy az FWD technológia a közútkezelő/tervező információbázisát jelentős mértékben kiterjeszti, és ezzel gazdaságosabb megoldásokat tesz lehetővé.



16. ábra: Megengedett és keletkező cementstabilizáció-megnyúlás elhasználódott autópálya alaprétégeiben.

### 3.3. ASZFALTRÉTEGEK

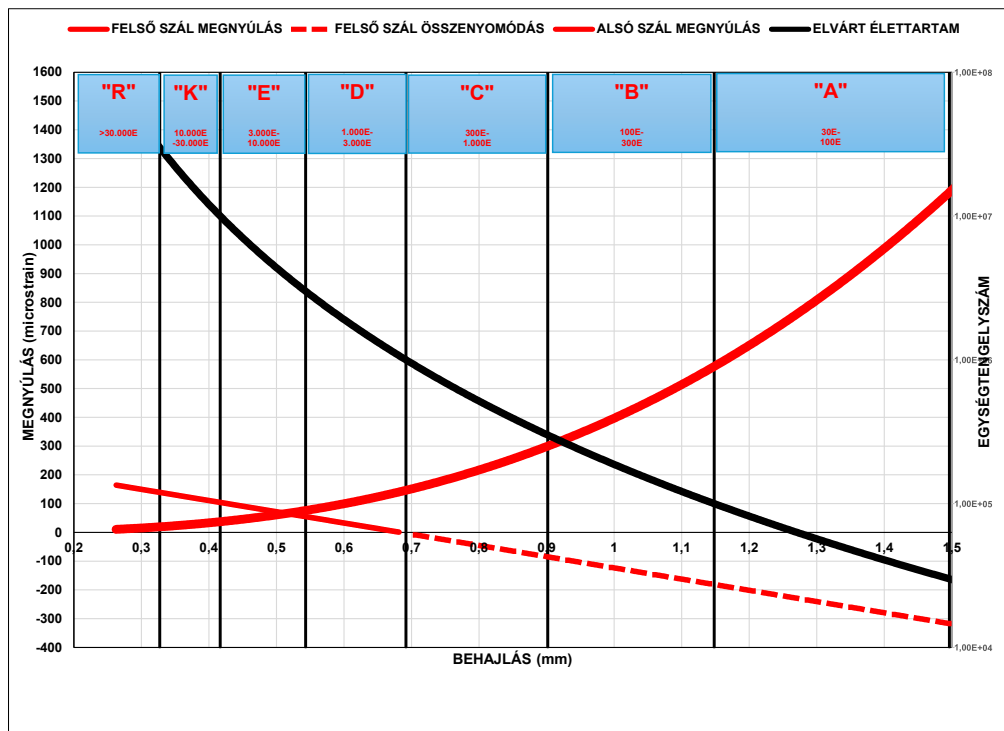
Az aszfaltrétegek pályaszerkezeteink legfontosabb elemei, viselkedésük alapvetően befolyásolja a közlekedés biztonságát, kényelmét és gazdaságosságát; ezért fontos, hogy a használat során bekövetkező képességváltozásokról a közútkezelőknek releváns információi legyenek, ezeket az FWD technológia szolgáltatni tudja.

#### 3.3.1. ASZFALTRÉTEGEK IGÉNYBEVÉTELEI

Az aszfaltok igénybevételén itt a pályaszerkezet-méretezés használatos eljárásaiban számolt, továbbá figyelembe vehető igénybevételeket értjük.

##### 3.3.1.1. Igénybevétel a járműforgalomból

A méretezési eljárások alapvetően a járműterhelések által kiváltott alakváltozásokon alapulnak, az aszfaltok esetében ezek **megnyúlások**, amiket a többrétegű rendszerek elméletével tudunk számolni. A 17. ábrán az aszfaltréteg alsó, illetve felső szálában keletkező megnyúlások láthatók a korábbiakban már használt diagramon.



17. ábra: Aszfaltréteg alsó/felsőszál igénybevétele járműterhelésből és az elvárt élettartam.

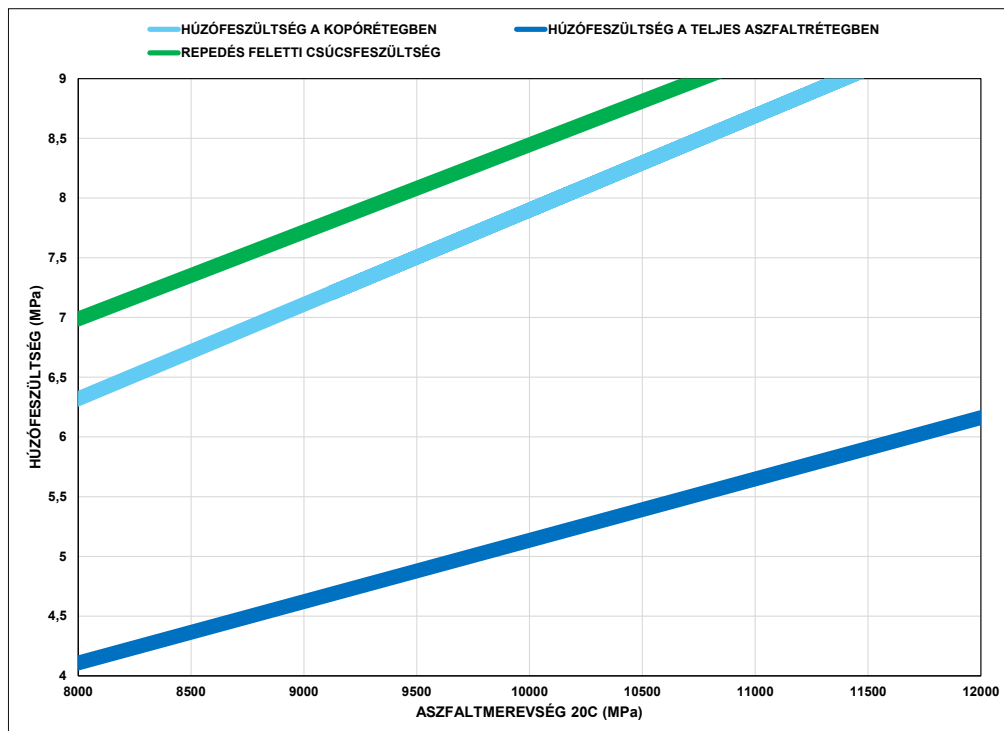
### 3.3.1.2. Meteorológiai igénybevételek

A meteorológiai igénybevételek alapvetően lehülésekből és a gátolt alakváltozásból következnek. Háromféle igénybevétel létezik:

- a kopórétegben jellemzően a fagyponthoz közeli értékekig terjedő lehülések indukálnak húzófeszültségeket, ezekre nagyon gyakran a kerékterhelések szélein keletkező húzófeszültségek ráhalmozódnak,
- a teljes aszfaltszerkezetben, elsősorban hidraulikus alaprétegek esetében, az erősen eltérő hőtechnikai tulajdonságok miatt indukálódnak húzófeszültségek,
- végül, a szükségképpen megrepedő, hidraulikus alaprétegek repedései fölött keletkeznek csúcsfeszültségek (ezek az előző pontban tárgyalt feszültségekkel együtt keletkeznek).

Mindhárom feszültségérték számítható, bár a sok független változó miatt, a számítás elég bonyolult. Mivel az aszfalt merevsége minden számítási eljárásban szerepel, az igénybevételeket annak függvényében láthatjuk a 18. ábrán, az értékek jó tájékoztató értékeknek tekinthetők.





18. ábra: Aszfaltréteg meteorológiai hatásból keletkező igénybevételei.

### 3.3.2. ASZFALTRÉTEGEK KÉPESSÉGEI

A pályaszerkezeti rétegek közül a mérnököket messze az aszfalt érdekli legjobban. A meglévő pályaszerkezetek esetében – ne felejtsük, hogy az FWD technológiáról beszélünk – a többrétegű, rugalmas teherhordó szerkezetben a fontos képességek a következők:

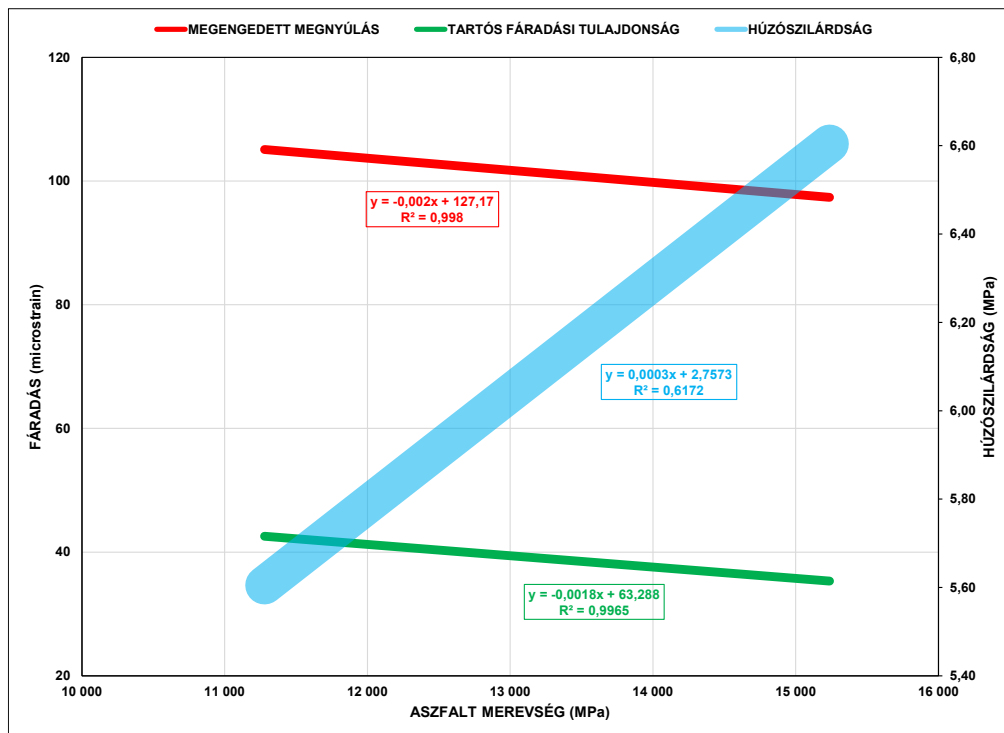
- **aszfaltmerevség**, ami a pályaszerkezeti alakváltozások korlátozásában fontos,
- **aszfalt fáradási** képesség, ami az ismételt járműterhelésekkel szembeni repedésmentességet biztosítja,
- **aszfalthúzószilárdság**, ami a főleg meteorológiai hatásokból keletkező statikus jellegű igénybevételekkel szembeni ellenállást biztosítja,
- **tartós** fáradási képesség az a határérték, amelynél **kisebb** megnyúlások esetében, a fáradási folyamat lényegében megáll.

Az ismertett igénybevételekhez ezek a képességek kapcsolhatók. Ezek közül a **merevség** a visszaszámolással meghatározható. A meglévő szerkezetek vizsgálatokor tanulmányozásra javasolhatók a következő irodalmakban ismertett számítási módszerek:

- az aszfalt fáradására [18],
- az aszfalt húzószilárdságára [19],
- a tartós fáradási képességre [20].

A választott eljárások az asfaltmerevségen kívül a VFA (hézagkitöltöttség) értékét használják; ez vagy az építési iratokból rendelkezésre áll, vagy pedig viszonylag egyszerű aszfaltvizsgálatokkal meghatározható.

Nagyobb (kb. 6 millió tonna aszfaltmennyiséget képviselő) adatgyűjtésből számítottunk **reprezentatívnak** tekinthető VFA értékeket, a 19. ábrán tanulmányozhatóan, ezzel állapítottunk meg aszfaltképeességeket. A 19. ábrán látható értékek a valós tendenciákkal egyeznek; szerkezeti rétegekhez jó tájékoztató értéknek tekinthetők.



19. ábra: Aszfaltképeségek függése a rétegmerevségtől.

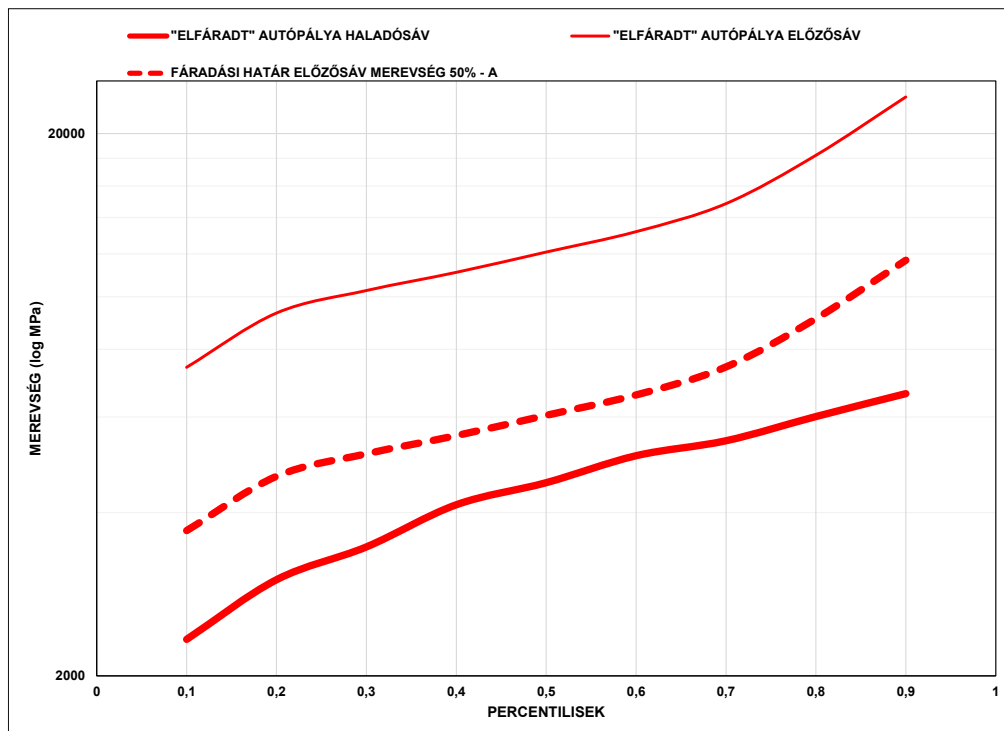
### 3.3.3. ASZFALTRÉTEGEK TOVÁBBHASZNÁLHATÓSÁGA

Itt ki kell emelni a **réteg** szót, az aszfalt anyagának újrahasznosíthatósága evidencia.

Az (aszfalt)réteg alkalmasságának nagyon sok szempontja szerepel a [2] alatti gyűjteményben, ezek külön vizsgálat alapján lehetnek a továbbhasználhatóság szempontjából jelentősek.

Az FWD technológia segítségével most vizsgáljuk meg a szemcsés és a hidraulikus rétegnél is elemzett autópályaszakasz aszfaltját. Teherhordó szerkezeti szempontból, mindenféle átalakítás nélkül, FWD technológiával vizsgálható módon, az aszfaltréteg **merevsége** lehet perdöntő.

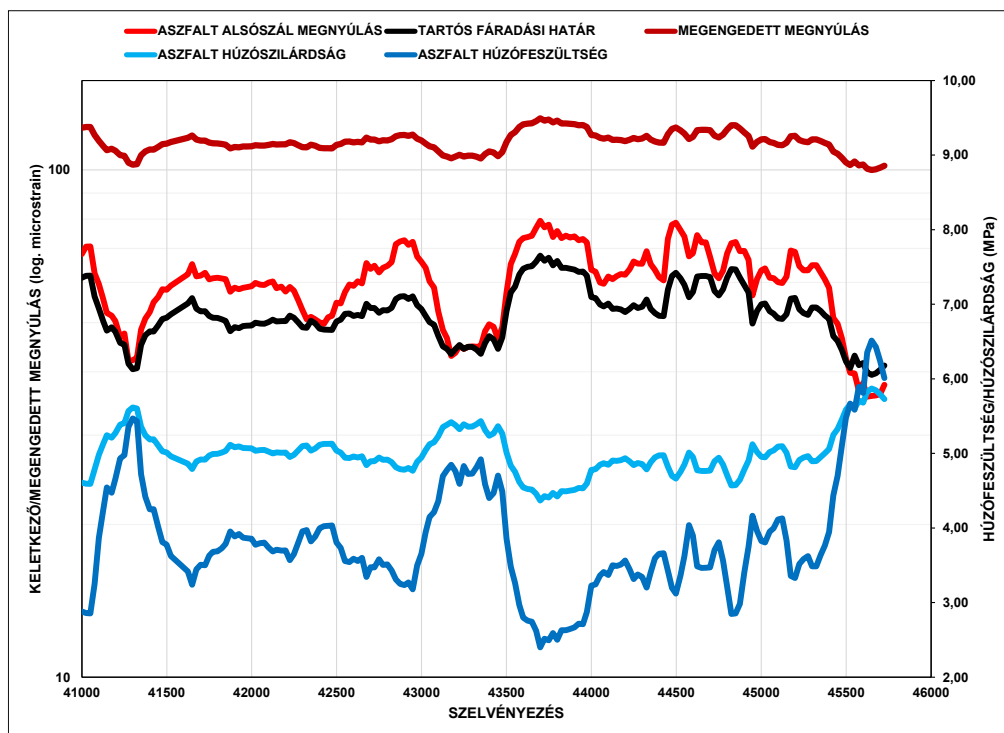
Konvenciónak ismerik, de [21] szerint **megalapozott kutatások** mondják ki, hogy az aszfalt fáradás szempontjából tönkrement, ha a merevsége az eredeti merevség 50%-ára csökken. Ezt, az FWD technológiával úgy lehet (a biztonság javára való közelítéssel) megállapítani, hogy terhelt és terheletlen felületen (pl. haladásáv/előzősáv, keréknyom/keréknyomok között) hajtjuk a vizsgálatot végre.



20. ábra: „Elfáradt” autópályaszakasz előző- és haladósávján az aszfaltréteg merevségeinek percentilisei.

A fentieket vizsgáljuk meg egy feldolgozás segítségével. Jól látható, hogy a haladósáv merevség percentilisei érdemben kisebbek, mint az – elvileg csak minimális forgalommal terhelt – előzősáv merevségek 50%-a. Megjegyzendő, hogy a forgalommal terhelt/nem terhelt sávok aszfaltrétegét anyag, felépítés és megvalósítási idő szempontjából azonosnak tételezzük fel. Ez a módszer tehát alkalmas a döntés megalapozására; a haladósáv aszfaltrétegét ebből a szempontból **fáradtnak** lehet tekinteni, változatlan állapotban nem használható. Az előzősáv esetében ez a kritérium megfelelőnek mondható, de az FED technológia segítségével további, a döntést megalapozó elemzés is végrehajtható.

A 19. ábrán bemutattuk az aszfalt képességeit, határozzuk meg ezeket az előzősávra. A 21. ábrán az aszfalt tartós fáradási képességét és a húzószilárdságát tüntettük fel, és mindkettőhöz a hozzá rendelhető igénybevétel értékét is számoltuk (a 17. és a 18. ábrának megfelelően, a konkrét forgalmi sáv aszfaltmerevségével, illetve a mért D0-D300 értékek felhasználásával). A meglévő réteg merevsége kielégítő, így a merevség ismeretében számítható, fáradási és húzószilárdsági képességei valósak. A tartós fáradási képesség és a számított aszfaltnyúlás értékek nagyon közel vannak egymáshoz, azaz feltehető, hogy a rétegnek – a forgalmi terhelés és a felújító technológia függvényében – érdemi fáradási képessége van. A számított megengedett megnyúlás érték, konkrét tervezés esetében, aszfaltvizsgálatokkal ellenőrizendő, de korrekt becslés az is, ha a fáradási tulajdonságot a két számolt érték közé vesszük fel.



21. ábra: Az előzősáv igénybevételei és az ahhoz kapcsolódó képességei.

A húzószilárdsági képességnél figyelembe veendő, hogy a réteg a **csúcshúzószilárdsági** (az alapréteg repedései fölött) helyeken valószínűleg már elrepedt, viszont a teljes rétegben keletkező aszfalthúzószilárdság felvételére nagyon jó eséllyel alkalmas.

Ez a rövid elemzés mutatja, hogy a behajlásértékek birtokában felújítási feladathoz meglepően sok kiinduló információ nyerhető, amivel a feladat gazdaságossága jelentősen javulhat.

#### 4. A NAGYKÉP RÉSZLETEI

A 2. fejezetben vizsgált, nagyság szerint sorba rakott rétegmerevségek számos hasznos információval szolgáltattak; ezek egy részére az előző fejezetben kitértünk.

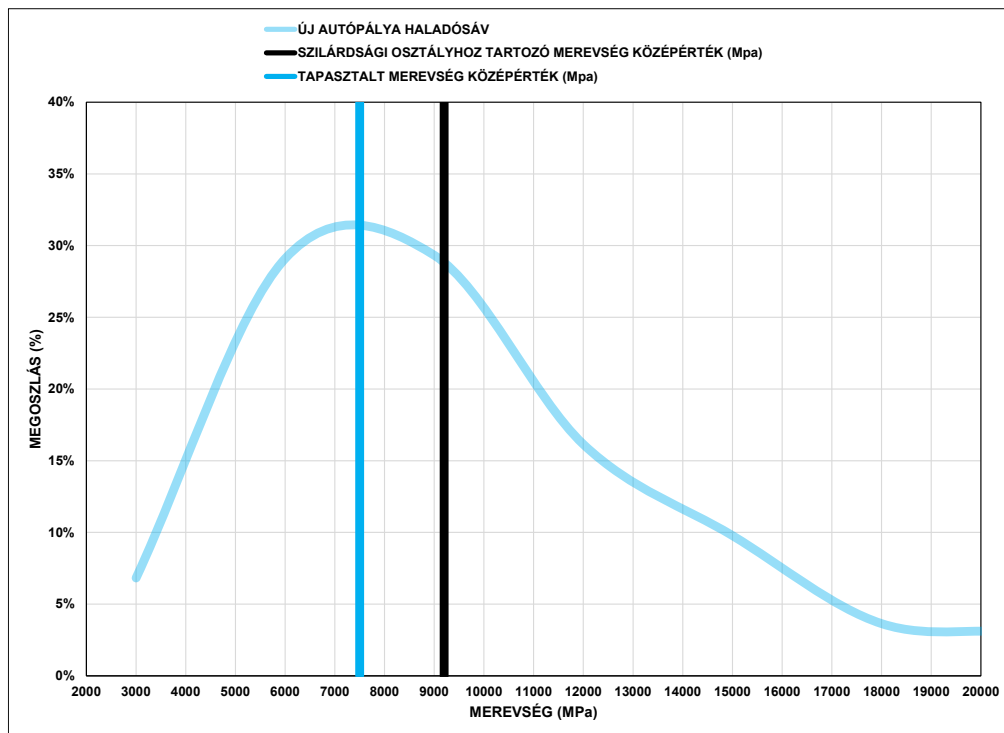
##### 4.1. ÚJ ÁLLAPOTÚ CEMENTSTABILIZÁCIÓ MEREVSÉGÉNEK „ÜZENETE”

A 3. ábrán látható, új állapotú gyorsforgalmi szakasznál a megállapításokban szó volt a cementstabilizáció merevségének a **tervezett** állapothoz képest lévő alacsonyabb értékéről. Vizsgáljuk meg kicsit részletesebben a kérdést.

A tervezett merevséget [15] alapján a 28 napos előírt nyomószilárdságból lehet számítani (gyakorlatilag függvényyszerű összefüggéssel), és figyelembe kell venni, hogy a behajlásmérés időpontjában a szilárdulás még viszonylag gyors, a megállapítást ennek megfelelően kell értelmezni.

A 22. ábrán ábrázoltuk a tapasztalati sűrűségfüggvényt, a középértéket és a minősítő szilárdságból számított merevséget; jól látható, hogy a halmaz jelentős része ez alatt helyezkedik el.

Egyszerű – és itt nem részletezett – számítással megállapítható, hogy a tényleges nyomószilárdság kb. 1 MPa értékkel kisebb, ez pedig majdnem egy osztállyal alacsonyabb kategória, ami a tervezettnél alacsonyabb cementadagolást sejtet. Ez felveti az FWD technológia minőségellenőrzési alkalmazásának lehetőségét.



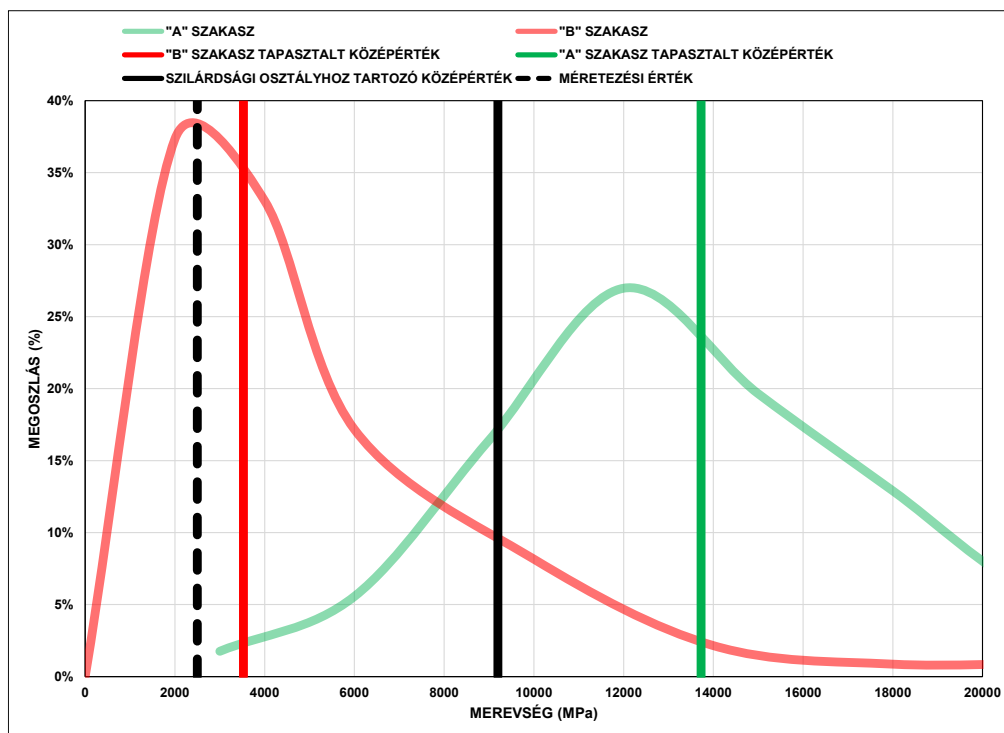
22. ábra: Cementstabilizáció merevségének tapasztalati sűrűségfüggvénye.

#### 4.2. AZ ÉLETÜK „DELÉN” JÁRÓ SZAKASZOK CEMENTSTABILIZÁCIÓI

Az 5. ábrán bemutatott rétegmerevségek a szerkezeti szám szerint is két, egymástól nagymértékben különböző részt mutatnak. A 22. ábrához hasonlóan, kiszerkesztettük a haladósávok tapasztalati sűrűségfüggvényeit, a tartalmában lényegében azonos ábra a két szakasz különbözőségét még világosabban mutatja. Az „A” szakasz középértéke jelentősen meghaladja a szilárdsági osztályból levezethető merevségértéket, és gyakorlatilag a teljes görbe alatti terület a méretezési merevségérték fölött helyezkedik el.

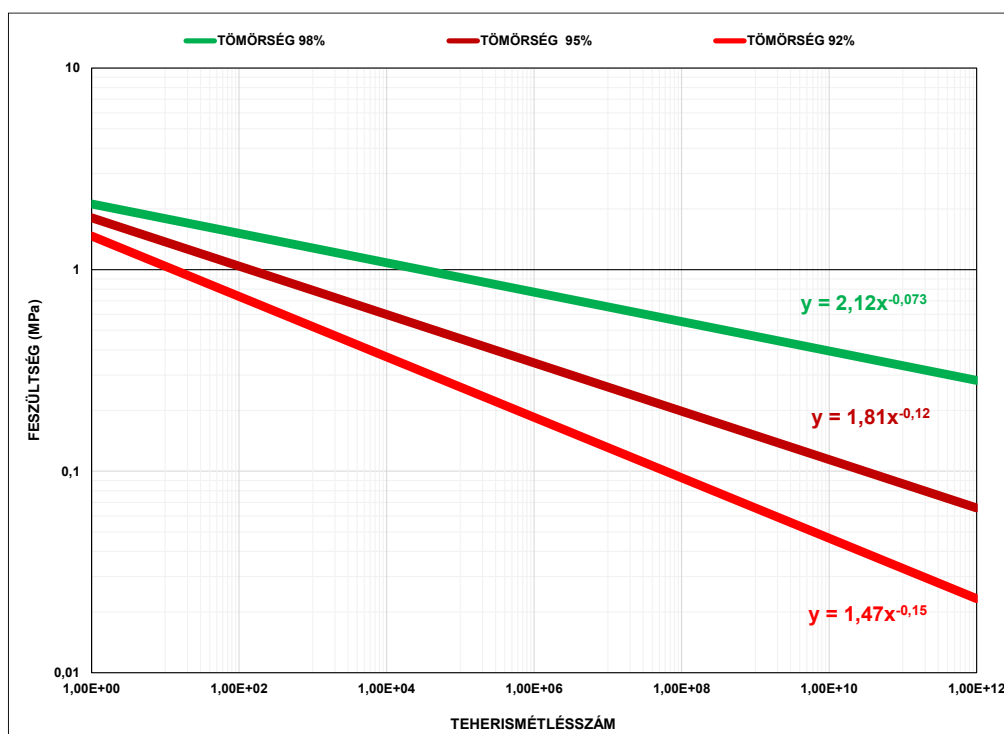
Említettük, hogy a szakaszon a tervezési forgalom másfélszerese lefutott, azaz valamilyen mértékben, de fáradt a réteg, viszont bizonyosan jelen volt (van) a továbbszilárdulás is, ezek eredőjeként teljesítőképesebb réteget mutatnak az eredmények. A „B” szakasz a szerkezeti szám által mutatott, még éppen megfelelő érték a cementstabilizáció nem megfelelő viselkedésének eredménye (a szakasz felépítése és forgalma azonos az „A” szakaszéval). A tapasztalati középérték messze elmarad a szilárdsági osztályból várható merevségtől és az eredmények jelentős része a méretezési érték alatti. A különbség okára vonatkozóan az FWD mérésekből nem egyszerű következtetni, de a szerzőnek van „bennfentes” információja.

Ez pedig arról szól, hogy a megbízó nevében is eljáró szervezet a reflexiós repedések elleni küzdelem jegyében korlátozta a beépítésnél elérendő tömörséget. Az „A” szakasz építésvezetőjét hidegen hagyta az előírás és a megszokott eljárást követte, míg a „B” szakasz esetében az építésvezető nem ezt tette, az eredmény látható.



23. ábra: Cementstabilizáció merevségek sűrűségfüggvényei.

A 24. ábrán francia kutatás eredményét látjuk, jól felismerhető, hogy a tömörség csökkenésével mind a minősítő szilárdság, mind pedig a fáradási egyenes hajlása rossz irányba változik.



24. ábra: Különböző tömörségű cementstabilizációk fáradási vonalai.

A szakmailag teljesen hibás beavatkozás az építési folyamatba pusztító eredménnyel járt, és az egyébként szükséges felújítás jelentős többletköltségeket jelentett.

## 5. BEFEJEZŐ GONDOLATOK

A háromrészes cikksorozat végén az olvasó engedjen meg némi személyes gondolatot. Amióta a szerző a behajlásmérést megismerte, elég sok munkakörben, különböző helyzetekben használta, alkalmazta. Ehhez pedig olyan indíttatás kellett, amit a szerző minden, a szakmáját szerető mérnöknek kíván. A 23. ábrán látható a cementstabilizációra vonatkozó méretezési merevségérték (fekete szaggatott vonal). Ez dr. Boromisza Tibor vizsgálatának eredménye, ahol viszonylag új állapotú pályaszerkezet-korrektúra miatti elbontása adott – még Benkelmann gerendával való – mérésekre lehetőséget. A méréseket a teljes pályaszerkezeten, majd a bontás során minden rétegen hajtották végre és ezekből az adatokból lehetőség nyílt (Odemark eljárásával) a rétegmerevségek meghatározására. Az így nyert cementstabilizáció merevség került be aztán a méretezési utasításba [15]. Az értéket többen – így köztük a szerző is – alacsonynak tartották, és többször nyílt lehetőség „jóízű” szakmai vitára dr. Boromisza Tiborral. A szakmai részen túl a szerzőnek a vitapartner nagy tudása, türelme és következetessége adott olyan élményeket, ami a kérdésterület minél nagyobb megismerésére sarkallta. Ez az, amit csak köszönni lehet Neki, és ha ezzel valamit hozzá tudott a szerző tenni szakmánk problémáinak megoldásához, azért elsősorban dr. Boromisza Tibornak jár köszönet.

## 6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: Primusz, P. & Tóth, Cs.: Virtuális inerciapont módszeren alapuló útpályaszerkezet diagnosztikai eljárás validálása. Útügyi Lapok, 11. évf. 18. szám, 2023, <https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.05>
- [2]: Országos Közúti Adatbank: <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/az-allami-kozuthalozatrol>
- [3]: ÚT 2-1.202 [e-UT 06.03.13] Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése
- [4]: Park, H.M. 2001. Use of Falling Weight Deflectometer multi-load level data for pavement strength estimation. PhD dissertation, North Carolina State University.
- [5]: Van, Gorp, C.A.P.M. & Wennink, P.M. 1997. Design, structural evaluation an overlay design of rural roads (in Dutch) KOAC – WMD consultants; Apeldoorn.
- [6]: Karoliny, M. 2013. Közlekedési pályák teherbíró-képessége – Az alaprétegek hatásai. Útügyi Lapok 1. évfolyam, 2. szám.
- [7]: KPM (Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium): Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása (HUMU), 1971.
- [8]: Fellin, W.: Hypoplasticity for beginners. <https://www2.uibk.ac.at/downloads/igt/publications>
- [9]: Kolymbas, D. 2022. A Primer on Theoretical Soil Mechanics. 55 p. ISBN:9781009210331 Published online by Cambridge University Press.
- [10]: Herle, I. 1997. Hypoplastizität und Granulometrie einfacher Korngerüste. PhD Dissertation Universität Karlsruhe.
- [11]: Rondon, H. A. et al. 2007. Hypoplastic material constants for a well-graded granular material (UGM) for base and subbase layers of flexible pavements. Acta Geotechnica, Vol. 1, No. 2, pp. 113-126.
- [12]: Nyomvonal 2008 Mérnökiroda Kft. 2016. Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv, (Kézirat).
- [13]: Vámos, M. & Szendefy, J. 2024. Magyar német típus-pályaszerkezetek várható süllyedésének összehasonlítása Útügyi Lapok 12. évf. 20. szám. <https://doi.org/10.36246/UL.2024.2.06>
- [14]: Gáspár L. & Keleti, I. et al. 2010. Az M1-es autópálya Törökbálint és Tata közötti szakasza kapacitásbővítő rekonstrukciójához készült tervezési diszpozíció. Közlekedésépítési Szemle 60. évf. 6. szám, pp. 15-27.
- [15]: Nemesdy, E. 1992. Az új magyar típus – útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének hátttere. Közlekedés és Mélyépítéstudományi Szemle 62. évf. 8. szám.
- [16]: AUSTROADS. 2004. Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design Sydney.
- [17]: de Bondt, A. H. 1999. Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. PhD dissertation; Delft University of Technology, Delft.
- [18]: Development of the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement structures, Draft Part 2-Design Inputs Chapter 2 Material characterisation. ERES Division of ARA, Inc., Champaign, Illinois, 2001.

- [19]: Molenaar, A. A. A., & Li, N. 2014. Prediction of compressive and tensile strength of asphalt concrete. International Journal of Pavement Research and Technology, 7, pp. 324-331. [https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2014.7\(5\).324](https://doi.org/10.6135/ijprt.org.tw/2014.7(5).324)
- [20]: Sullivan, B.W. 2015. Development of a Long Life Design Procedure for Australian Asphalt Pavements. PhD dissertation, Curtin University.
- [21]: Pellinen, T. K., Christensen, D.W., Rowe, G. M. 2004. Sharrock M.: Fatigue-Transfer Functions, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1896(1), pp. 77-87.