



Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek megerősítésének méretezése – összefoglaló ismertető

Karoliny Márton¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

KIVONAT

Előzmények A „Fenntartható utak” (1) című projekt zárójelentésében szerepel a címbeli eljárás, ami – a szándék szerint – a jelenleg érvényes megerősítési utasítást (2) váltaná ki. Az eljárás bemutatása már évek óta egy képzés (3) keretében számos mérnök számára vált elérhetővé. Néhány konkrét esetre – tapasztalatszerzési céllal – az eljárás a tervezés szintjén alkalmazásra került. [...]

Karoliny Márton

Okleveles építőmérnök, szakmérnök, mérnök-közgazdász. A MAUT Útpályaszerkezetek szakbizottság elnöke, jelenleg aktív, szakmai tanácsadással foglalkozó nyugdíjas. Pályájának első részében közútkezelőként (hidmérnök, 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 konszernen 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 30, évente 4-5 konferencián, workshopon előadásokat tart.

1. ELŐZMÉNYEK

A „Fenntartható utak” (1) című projekt zárójelentésében szerepel a címbeli eljárás, ami – a szándék szerint – a jelenleg érvényes megerősítési utasítást (2) váltaná ki. Az eljárás bemutatása már évek óta egy képzés (3) keretében számos mérnök számára vált elérhetővé. Néhány konkrét esetre – tapasztalatszerzési céllal – az eljárás a tervezés szintjén alkalmazásra került. Egy ilyen alkalmazás részletesen ismertette lett egy, a Zala Megyei Mérnöki Kamara által kiírt pályázaton, ahol tisztes elismerésben részesült. (4) Az eddigi alkalmazások során ugyanakkor felmerült több kérdés is az eljárással kapcsolatban, ezért egy tömör összefoglalóban kívánom világosabbá tenni a módszert.

2. AZ ELJÁRÁS MEGALKOTÓI

Az eljárás kifejlesztése a MAUT illetékes (akkor illetékes) bizottságában kezdődött és az eredmények nagyon nagy része ezen közösség közreműködésével történt.

Mivel az eljárást mostanság egyszerűsítéssel a szerző nevével kötik össze (ez egy számára tiszteletre méltó, de nem igaz egyszerűsítés), feladat, hogy minden résztvevő neve ismertette legyen tehát:

- Dr. Adorjányi Kálmán
- Dr. Ambrus Kálmán

- Dr. Boromisza Tibor
- Dr. Keleti Imre (†)
- Dr. Liptay András • Dr. Pethő László
- Dr. Tóth Csaba
- Nyiri Szabolcs
- Sik Csaba

Megjegyzendő még, hogy a „Fenntartható utak” projekt során az eljárás bizonyos mértékig átalakult, ehhez értékes észrevételeikkel Kettinger Ottó és Tari Jenő is hozzájárult.

3. ALAPOK

A továbbiakban – emlékeztető jelleggel – az eljárás megfelelő értelmezéséhez néhány fontos kérdést megemlítek.

3.1. ALKALMAZOTT MÉRETEZÉSI KRITÉRIUMOK

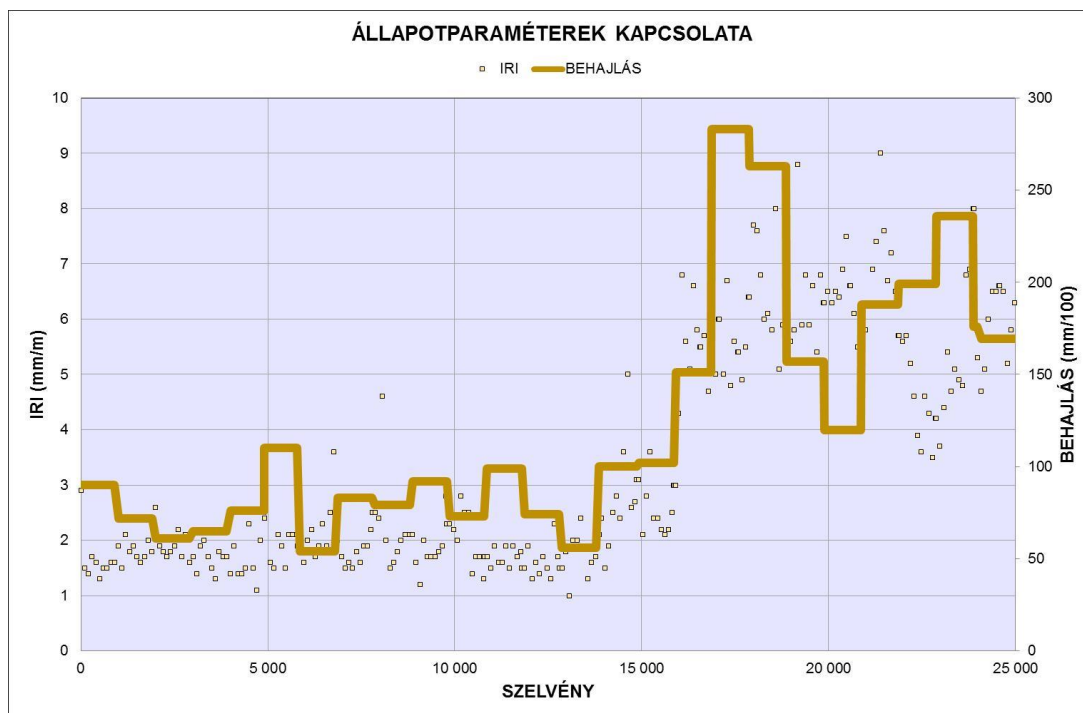
A megerősítés méretezésének két kritériumát használjuk – használtuk:

- az „empirikus”, vagy „behajlási” kritérium, aminek lényege az, hogy létezik, meghatározható egy „megengedett” behajlásérték, megmérhető, megismerhető egy „mértékadó” behajlásérték, majd ezek segítségével egy „szükséges” erősítőréteg vastagság
- a „mechanikai” alapú kritérium (amit helyesebb szilárdságtaninak nevezni, de erről később) a tartószerkezetek mechanikáját használja az igénybevétel, az építőmérnöki anyagtant pedig a szerkezeti merevség és a határigénybevétel meghatározására

Az irodalomjegyzékben (5)–(11) alatt adok egy felsorolást a magyar szakirodalomból az érdeklődőknek.

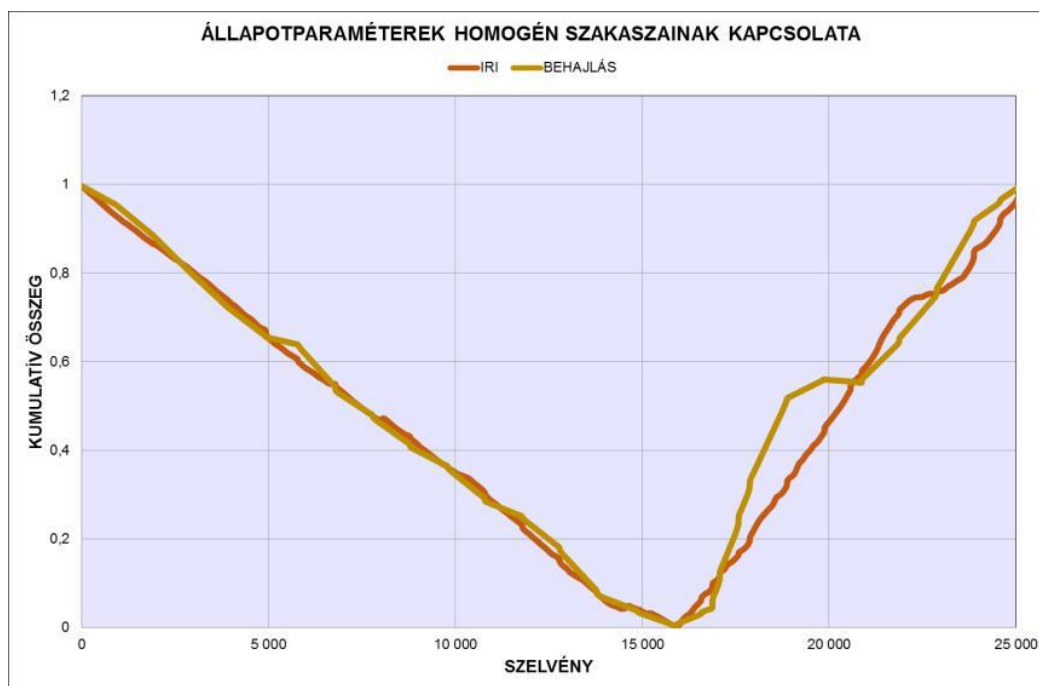
Az empirikus módszer eredete az AASHO kísérletekre vezethető vissza, aminek időpontjában a mérnökök számára már rendelkezésre álltak Boussinesq, Odemark és Burmister és mások elméleti megoldásai, (igazából ma is ezekre támaszkodunk) azaz a szilárdságtani megoldás lehetséges volt, amit akkor az anyagvizsgálatok lehetőségei korlátoztak, főleg az aszfaltanyagok esetében.

Jellemző, hogy a betonburkolatoknál a sokkal magasabb szintű anyagismeret már az 50-es évek végén lehetővé tette a szilárdságtani módszerek alkalmazását. Ma már szintén kissé elfelejtődött, hogy a kísérlet során a leromlást a PSI (Present Serviceability Index) (12) változásával jellemezték, majd mivel ennek rendszeres meghatározása a gyakorlatban akkor nehézséget okozott (13), kapcsolatot kerestek és találtak a PSI és a behajlások változása között. Az európai és ezen belül a hazai átvételnél – a PSI itt nem volt használatos – a behajlásmérés eredménye került a középpontba és méretezési kritériummá is vált.



1. ábra: Állapotparaméterek kapcsolata

Az utolsó 20 évben hazánkban is megjelentek olyan állapotfelmérő eszközök, amelyek az úthálózat felületi tulajdonságait gyorsan és pontosan mérik, így fontos jellemző a felületi egyenletesség, amit az IRI mérőszámmal jellemeznek. Kimutatták, hogy az IRI és a PSI között szoros kapcsolat létezik (13) ezáltal vizsgálható, hogy az AASHO kísérletből levezetett méretezési kritérium az új eredmények függvényében mennyire érvényes. A 2. ábrán egy hazai méréssorozat eredményei láthatók (14), jól felismerhető, hogy van kapcsolat a behajlás és az IRI között, de ez a kapcsolat korántsem erős.



2. ábra: Állapotparaméterek homogén szakaszainak kapcsolata

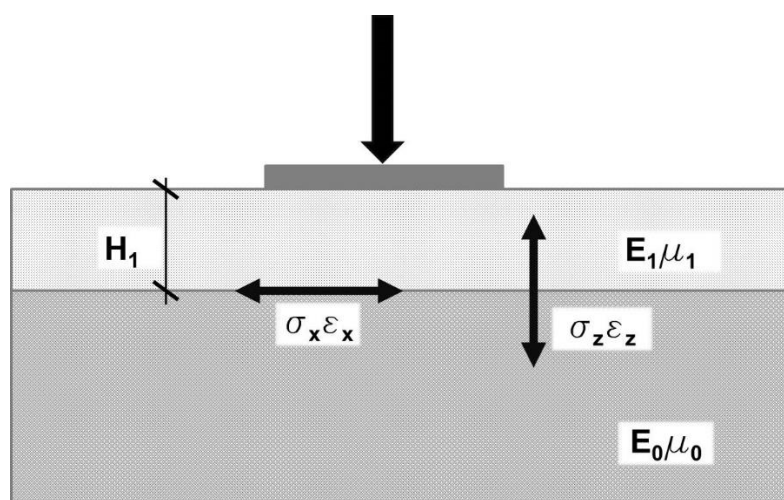
Ugyanakkor a paraméterek homogén szakaszai lényegében teljes mértékben összeesnek. Nagyon valószínű tehát, hogy az IRI nem közvetlenül a központi behajlással korrelál, hanem a behajlási teknő

egészét (esetleg lokális ismérveket is) kell elemezni a kapcsolat megismeréséhez. Léteznek ilyen kutatások – főleg az amerikai kontinensen – ahol egyéb magyarázó tényezők és a szilárdságtani módszerek figyelembevételével prognosztizálják a felületi egyenletesség alakulását. (15).

3.2. A SZILÁRDSÁGTANI SZÁMÍTÁSOK

Az útpályaszerkezetek rétegekből állnak, az ezekben keletkező feszültségek, megnyúlások számítására különböző lehetőségek vannak, ezek jellemzően kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek. Megemlítendő, hogy a Boussinesq egyenletek és az Odemark transzformáció alkalmazásával egy olyan eljárást is kifejlesztettek (Method of Equivalent Thickness, MET) (13) amely táblázatkezelővel programozva nagyon termelékeny módon teszi lehetővé a számítások elvégzését. Hazánkban a SHELL – BISAR szoftver használata már konvenciónak minősíthető (a jelenlegi típus – pályaszerkezetek ezzel lettek meghatározva) ezért ennél az anyagnál is ezt használtuk.

Az alkalmazott szilárdságtani modellt a következő ábrán lehet tanulmányozni.

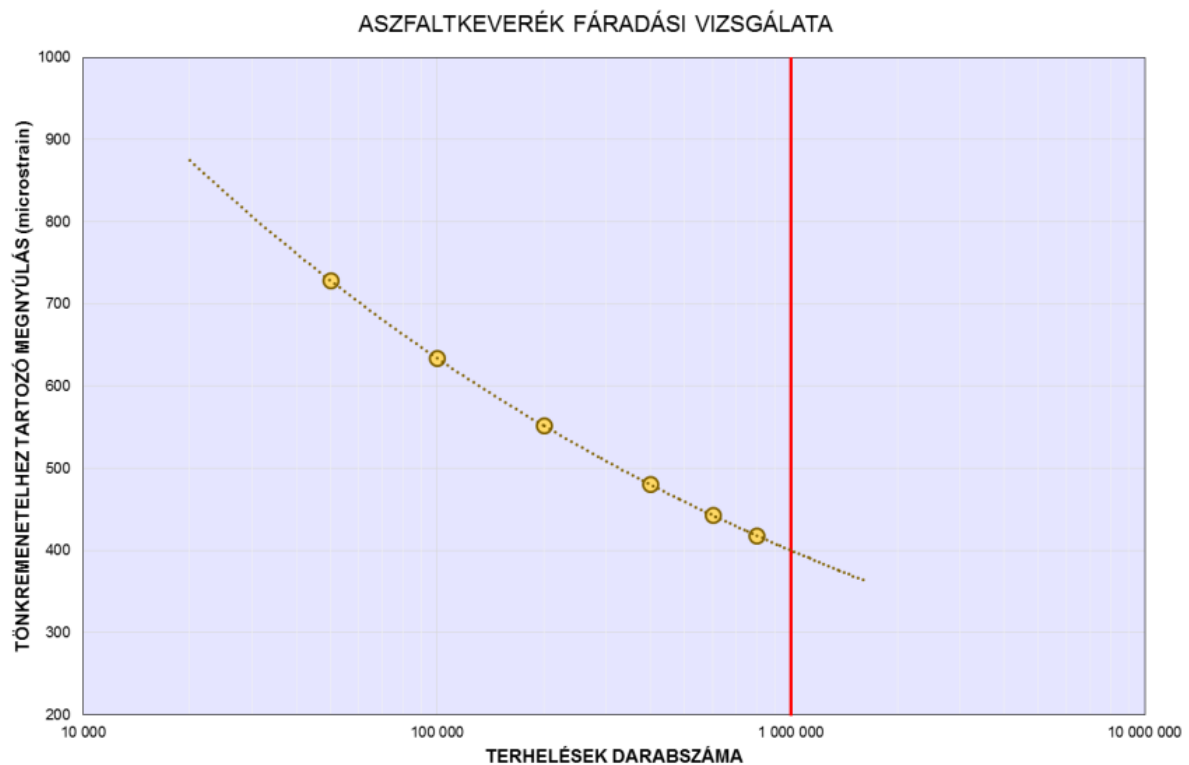


3. ábra: Alkalmazott szilárdságtani modell

E szerint létezik egy E_0 merevséggel és μ_0 Poisson tényezővel rendelkező végtelen féltér, amire ráépítünk erősítési céllal egy ismert H_1 vastagságú, E_1 rugalmassági modulusú μ_1 Poisson tényezőjű új réteget. A réteget egy 300 mm átmérőjű tárcsára ható 50 kN nagyságú erő terheli. A szoftver képes kiszámolni az új réteg alsó szélén keletkező vízszintes és függőleges feszültséget és megnyúlást, ezután az anyagtani méretezés is végrehajtható, ezt a továbbiakban kerül bemutatásra.

3.3. AZ ASZFALTSZERKEZET FÁRADÁSI MÉRETEZÉSE

Kellően nagy számú, ismételt igénybevétel hatására teherhordó szerkezeteink az egyszeri terhelésnél tapasztalható határfeszültségnél lényegesen kisebb keletkező feszültség mellett is „eltörnek”, ezt nevezzük fáradásnak. Egy aszfaltkeverék fáradási tulajdonságát alapesetben fárasztóvizsgálattal lehet meghatározni. Számos, főleg a próbatest alakjában és elkészítési módszerében, továbbá a terhelés módjában különböző fárasztóvizsgálat létezik, ugyanakkor a vizsgálatok alapelve azonosnak tekinthető. A próbatestet a vizsgálat szerinti terhelési móddal, különböző terhelési szinteken (ez lényegében a terhelési mód szerint értelmezhető feszültség) ismételt terhelésnek vetjük alá. A próbatest valamilyen ismétlésszámnál tönkremegy (tönkremenetelnek jellemzően az ismétlések hatására – a fáradás hatására – csökkenő merevségnek a kiinduló merevség 50%-át értelmezik). Ha a vizsgálat eredményeit diagramban ábrázoljuk, a következő képet kapjuk.



4. ábra: Aszfaltkeverék fáradási vizsgálata

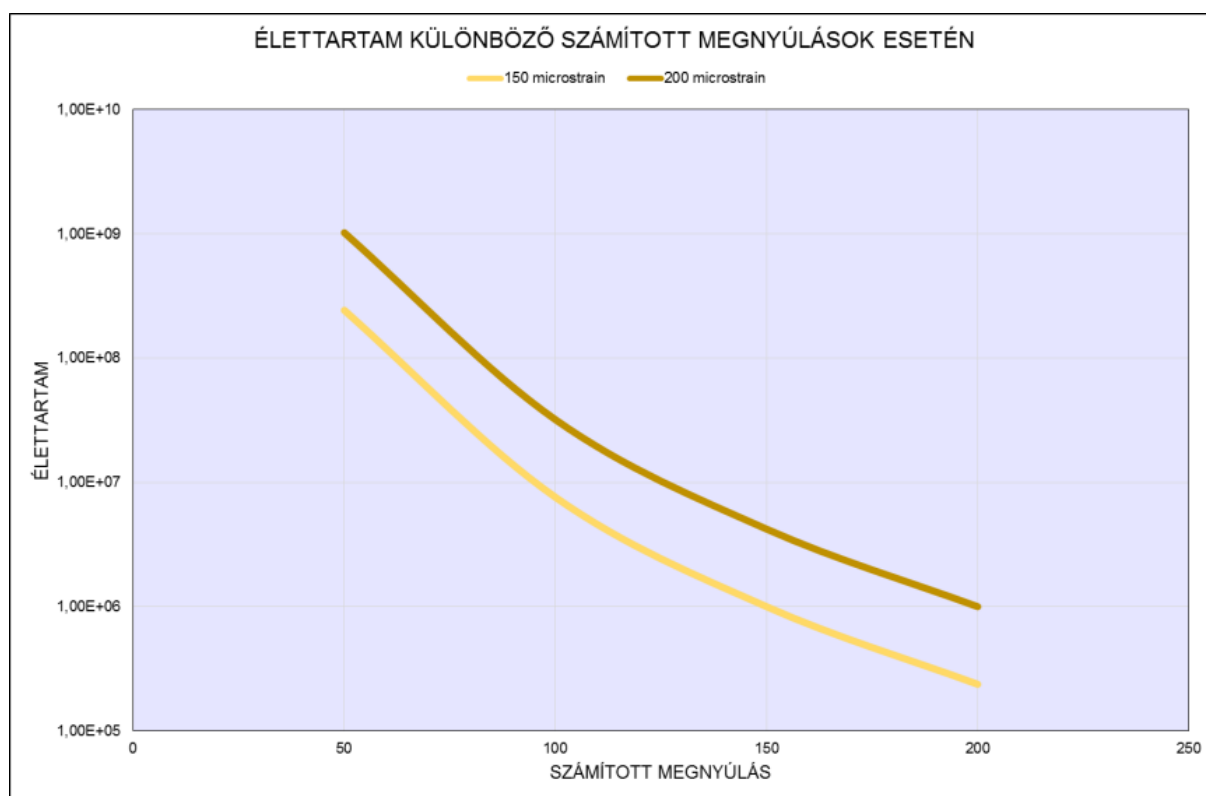
Az aszfaltmechanikában az a gyakorlat alakult ki, hogy a fáradási tulajdonságot a megnyúlással jellemezzük (mért, számított), azért, mert az aszfalt nem tisztán rugalmas, hanem viszkózus tulajdonságokkal is rendelkezik, emiatt van relaxációs (ernyedési) képessége, amely miatt a feszültség viszonylag gyorsan leépül, míg a megnyúlás megmarad.

Szintén konvenció az aszfaltmechanikában, hogy a fáradási képességet az egymillió teherismétlési számhoz rendelhető megnyúlással jellemezzük, ezt nevezzük megengedett megnyúlásnak (a diagramon a függőleges piros vonallal való metszéspont a megengedett megnyúlás). Jól megfigyelhető, hogy a terhelés ismétlésszámának növekedésével a „töréshez” tartozó megnyúlás markánsan csökken.

Miután ismerjük az aszfaltszerkezet megengedett megnyúlását, továbbá meghatároztuk a terhelés hatására keletkező megnyúlást, az adatokból tudjuk számítani a szerkezet fáradási élettartamát, a következő képlet szerint.

$$N = 10^6 \cdot \left(\frac{\epsilon_{\text{számított}}}{\epsilon_{\text{megengedett}}} \right)^{-5} \quad (1)$$

Megjegyzendő, hogy a kitevőben szereplő -5 érték egy konvenció eredményeként használt egyszerűsítés, egyébként anyagtól függő paraméter.



5. ábra: Élettartam különböző számított megnyúlások esetén

Az előző ábrán bemutatjuk a képlet „működését” különböző számított és megengedett megnyúlások esetében, jól megfigyelhető, hogy a fáradási tulajdonságoknak milyen nagy a hatása.

3.4. A TERVEZETT ELJÁRÁS MÉRTEZÉSI MÓDSZERE ÉS HATÁRKRITÉRIUMA

A tervezett eljárás a megerősítést a következő módon kívánja megvalósítani:

- behajlasmérésekkel meghatározza a megerősítendő szakasz merevségét,
- ezt a merevségértéket a meteorológiai és földtani adatok alapján egy referencia – mértékadó – merevségre korrigálja (hőmérsékleti és talajmerevségre vonatkozó korrekciók),
- további merevség – növelő, vagy csökkentő intézkedések lehetségesek, így:
 - o merevségnövelés lokálisan rossz merevségű helyeken lokális javításokkal,
 - o merevségnövelés esetleges újrahasznosítással,
 - o merevségcsökkentés a technológiai/geometria okok miatti aszfalteltávolítás következtében,
- az így kialakult méretezési merevségre számítja a szükséges új aszfaltvastagságot és a méretezési kritériumként az új aszfaltréteg alsó szálában keletkező számított megnyúlást veti össze a megengedett megnyúlással.

Az utolsó mondatot kiemelve, a megerősítési eljárás méretezési kritériuma az új aszfaltréteg alsó szálában keletkező megnyúlás nagysága. Ennek bevezetésével a megerősítés és az új pályaszerkezet tervezés hazai gyakorlata egyöntetűen a szilárdságtani alapokra helyeződött. A fent leírtakban szereplő „merevség” fogalom azonosnak vehető a hajlított tartók számításánál használt „rugalmassági modulus×inercia” kifejezés merevségfogalmával. Erre a legegyszerűbben meghatározható pályaszerkezeti tulajdonság az „egyenértékű felületi modulus” amit homogén végtelen féltér esetén a Boussinesq képletből, rétegzett szerkezet esetében pedig az Odemark eljárás felhasználásával nyerhetünk.

3.5. ELMÉLET ÉS VALÓSÁG

A tartószerkezetek szilárdságtana (az útpályaszerkezet is tartószerkezet!) modellekkel dolgozik, amelyek valamilyen pontossággal leírják a valóságban végbemenő folyamatokat.

Az útpályaszerkezetek esetében számos olyan befolyásoló tényezőt ismerünk, ami a valós viselkedést „eltéríti” a modellhez képest, a teljesség igénye nélkül néhányat megemlítek.

- A valós terhelések eltérnek, mind a terhelőerő, mind az érintkezési felület szempontjából a modelltől (a terhelő járművek tömege, terheltsége, a gumiabroncsok méretei stb.)

- A pályaszerkezeti anyagok szilárdságtani tulajdonságainak meghatározása laboratóriumi körülmények között ugyan megoldott, de viszonylag kevés az értékelhető eredmény, ráadásul a tulajdonság mértéke a vizsgálati eljárástól (lényegében a feszültségállapottól) is függ, ami eltérő lehet a valós terhelések esetében jelentkező válaszoktól.

- Az anyagok tulajdonságai nem állandóak, megfigyelhetők rövid távú ciklusok (főleg meteorológiai okokra visszavezethetően) és tapasztalhatók hosszú távú, főleg az anyag összetevőinek tulajdonságváltozásából eredő módosulások (pl. kötőanyag öregedés).

Összefoglalva megállapítható, hogy az elméleti értékekhez képest nagymértékű eltérések is tapasztalhatók, hasonlóak megfigyelhetők más teherhordó szerkezetek esetében is.

4. A TERVEZETT ELJÁRÁS EGYES SAJÁTOSSÁGAI

A továbbiakban az eljárás általam lényegesnek ítélt sajátosságait felsorolva, azokhoz rövid magyarázatot fűzök.

4.1. AZ ELJÁRÁS FELÉPÍTÉSE

Eljárásnak egy tevékenység vagy egy folyamat elvégzésének előírt módját nevezzük. A tervezetben rögzítve van egy sorrend, azért mert az egyes lépésekben megszerzett információk a következő lépések végrehajtásához szükségesek. Nem kívánom részletezni, de belátható, hogy a laboratóriumi vizsgálatok helyének kijelölése nem történhet meg értelmes módon a helyszíni szemle előtt.

4.2. MEGERŐSÍTÉSI MÓDSZEREK

Az eljárás létrejöttének egyik alapvető indoka az volt, hogy a gyakorlatban alkalmazott módszerek azonos elven, egyidejűleg vizsgálhatók legyenek.

1. táblázat: A különböző felújító módszerek és az alkalmazásukat kizáró körülmények

FELÚJÍTÓ MÓDSZER MEGNEVEZÉS E	MÓDSZER ALKALMAZHATÓ VÁLTOZATAI		ALKALMAZÁST KIZÁRÓ KÖRÜLMÉNYEK
	MEGERŐSÍTÉS	RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOKNAK MEGFELELŐ ASZFALTKEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLATFELÜLET PROFILHELYESSÉGÉN EK OLYAN HIBÁJA, AMELYEK TELJES FELÜLETŰ KIEGYENLÍTŐRÉTEGG EL NEM SZÜNTETHETŐK MEG
		RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOK NAK MEGFELELŐ ASZFALTKEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL, A MEGLÉVŐ	A MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 – 60 MM KÖZÖTT

		ASZFALTRÉTEGEK RÉSZBENI, VAGY TELJES ELTÁVOLÍTÁSÁVAL	
		RÁÉPÍTÉSSEL, SZABÁLYOZÁSOK NAK MEGFELELŐ ASZFALT ÉS MÁS PÁLYASZERKEZETI KEVERÉKEK ALKALMAZÁSÁVAL	NINCSENEK
	MEGERŐSÍTÉS HELYSZÍNI ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL	HELYSZÍNI MELEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, MELEGÍTÉSSEL ÉS/VAGY ÚJ KÖTŐANYAG HOZZÁADÁSÁVAL (A RÉTEGVASTAGSÁG VÁLTOZATLAN)	A PÁLYASZERKEZET ASZFALTRÉTEGEI ALKALMASAK AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁSRA, AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ
		HELYSZÍNI MELEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ÚJ ASZFALTKEVERÉK HOZZÁADÁSÁVAL (A RÉTEGVASTAGSÁG NŐ)	ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 – 60 MM KÖZÖTT
		HELYSZÍNI HIDEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ANYAGPÓTLÁS NÉLKÜL	MINIMÁLISAN 150 MM. HIDEGEN ÚJRAHASZNOSÍTHATÓ RÉTEG(EK) A MEGLÉVŐ PÁLYASZERKEZETBEN, AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG MINIMUM 60 MM, VAGY TELJESEN EI KELL TÁVOLÍTANI AZ ASZFALTOT
		HELYSZÍNI HIDEG ÚJRAHASZNOSÍTÁSSAL, ANYAGPÓTLÁSSAL	AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS VASTAGSÁGÁN FELÜL MARADÓ ASZFALTVASTAGSÁG NEM LEHET 0 – 60 MM KÖZÖTT
	MEGERŐSÍTÉS (ÉLETTARTAM NÖVEELÉS) LOKÁLIS JAVÍTÁSOKKAL	LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG NÉLKÜL	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLAT FELÜLETI EGYENLETESÉGÉNEK, PROFILHELYESSÉGÉNEK NEM MEGFELELŐSÉGE (IRI>5 MM/M, KERÉKNYOM > 10 MM)
		LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG FELÜLETI BEVONAT	
		LOKÁLIS JAVÍTÁSSAL, ÚJ KOPÓRÉTEG VÉKONYASZFALT (MAX 25 MM VASTAGSÁG)	A MEGLÉVŐ ASZFALTRÉTEGEK NEM MEGFELELŐ ASZFALTMECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, A MEGLÉVŐ BURKOLAT FELÜLETI EGYENLETESÉGÉNEK, PROFILHELYESSÉGÉNEK NEM MEGFELELŐSÉGE

			(IRI>10 MM/M, KERÉKNYOM > 15 MM), AZ ALKALMAZANDÓ ASZFALTKEVERÉKEN FELÜL TELJES FELÜLETEN KIEGYENLÍTŐRÉTEG SZÜKSÉGES
--	--	--	---

A táblázat a módszerek felsorolásán túl az alkalmazhatóságra vonatkozó kézenfekvő kritériumokat is tartalmazza.

4.3. MEGRENDELŐI DISZPOZÍCIÓ

A megrendelői diszpozíció fontosságáról és az általa elérhető eredményekről a szerző az Ütügyi Lapok hasábjain már publikált, ezért itt nem részletezem a kérdést, azt mindenképpen megjegyzem, hogy az átgondolt diszpozíció a hatékonyságot nagymértékben segíti. (16).

4.4. SZÜKSÉGES VIZSGÁLATOK

4.4.1. BEHAJLÁSMÉRÉSEK

A tervezet készítése során az egyik legtöbb vita a behajlásmérési módszerrel kapcsolatban volt. Fenntartva a lehetőséget az itt leírtak vitatására is néhány megállapítást kell rögzíteni:

- ahhoz, hogy szilárdságtanilag korrekten lehessen méretezni a szerkezet egy részének eltávolítását, továbbá a hasonló problémát jelentő újrahasznosítási eljárásokat, a behajlási teknőt legalább négy ponton kell rögzíteni. A billenőkaros behajlást jelentős szisztematikus hibával terheli a:
 - o talphiba (azaz az a tény, hogy az eszköz alátámasztása a behajlási teknőben van),
 - o a gépjármű gumiabroncsának nyomása (a terhelő felület nagyságát befolyásolja),
 - o az ikerabroncsok közötti „felhajlás”.
- A billenőkaros behajlás eredményét bizonytalanná teszik a:
 - o tisztázatlan reológiai tulajdonságok („dinamikus” átszámítás),
 - o geometriai viszonyok (pályaszerkezet oldalesése).

Összefoglalva, a billenőkaros behajlásmérés metrológiai bizonytalanságai miatt sok nehézséget okozhat, ezért célszerű az FWD (Falling weight deflectometer) készülékek használata. A metrológiai szempontok alapján ugyanakkor az eljárás minden behajlásmérő eszköz esetére előírja a vizsgálólaboratóriumi kritériumoknak megfelelő mérési utasítás elkészítését. Mindenképpen jelentős változás az, hogy nem csak a terhelés tengelyében kell a behajlást meghatározni, hanem a 300, 600 és a 900 mm távolságban lévő helyeken is, erre minden behajlásmérő készülék esetében van lehetőség.

4.4.2. EGYÉB VIZSGÁLATOK

Jelenlegi szabályozásunk – és főleg gyakorlatunk – a kérdésben kifejezetten hibásnak tekinthető, mert az általánosságok és az esetlegességek szintjén marad meg.

A probléma ezzel kapcsolatban kettős:

- amennyiben a tervezési feladat közbeszerzés alapján kerül végrehajtásra, az ajánlatkérés (mit csináljon a tervező?) nem meghatározott,
- szakmailag nézve pedig súlyos kockázatokat vállal a megbízó, ha a vizsgálatok „megspórolásával” pl. deformációra hajlamos aszfaltréteg „marad benn” a szerkezetben.

A problémák elkerülésére ezért a tervezet táblázatos formában előír egy vizsgálati sort, a szükséges frekvenciákkal együtt, aminek betartása esetén kellően jó technológiai terv készíthető.

Jellemző, hogy az eddigi próbaalkalmazásoknál ezt a mennyiséget és a hozzátartozó vizsgálati időt sokallták.

Konkrét esetre végzett kalkulációk azt mutatták, hogy a behajlásmérésen túli vizsgálatok 1 km.-re vonatkozó díja 1–1,5 mFt alatti összeg, ami, figyelembe véve a megszerezhető információkat és az elmaradásuk esetén fellépő kockázatokat semmiképpen nem tűnik soknak.

4.5. BEHAJLÁSI KORREKCIÓK

A jelenlegi szabályozás szerint a behajlásokat hőmérsékleti és „évszak” korrekcióval kell módosítani, a tervezet ezen elveket megtartva, új módszereket vezet be.

4.5.1. HŐMÉRSÉKLETI KORREKCIÓ

Mivel a behajlási teknő több pontján is meg kell mérni a behajlást, és a jelenlegi korrekciós képlet erre nem alkalmas, egy új módszert kellett alkalmazni.

Ezt egy fejlett eljárás átvételével lehetett megoldani.(17)

4.5.2. FÖLDMŰ MEREVSÉG VÁLTOZÁSA

A változékonyabbá váló klímánkban könnyen érthető, hogy a korábbi tapasztalatok alapján kidolgozott korrekciók mára elavultak, ezért vált szükségessé, hogy az éves ciklushoz kapcsolódó módszer helyett egy, a behajlásmérést megelőző időszak csapadékmennyiségéhez köthető eljárást alkalmazzunk. (14)

4.6. LOKÁLIS JAVÍTÁSOK

Gondos tervező már a jelenlegi szabályok alapján is alkalmazott lokális javításokat.

A szabályozástervezet egyrészt megkísérli ezeket definiálni, másrészt a hozamát (azaz a merevség átlagos növekedését) a méretezésnél figyelembe venni, ezáltal a gazdaságosságot növelni.

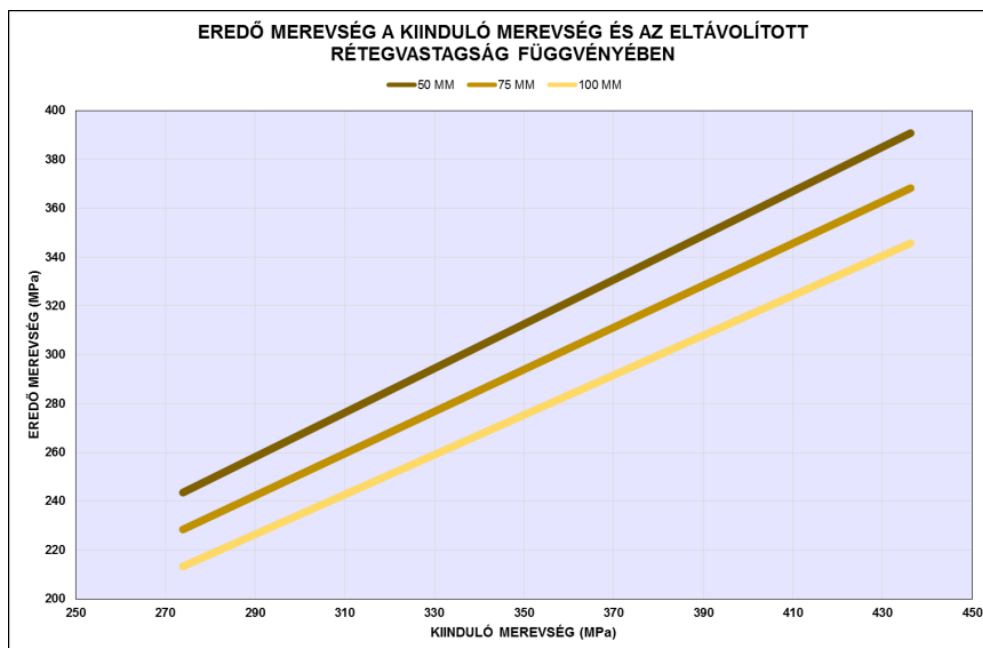
4.7. MEREVSÉGCSÖKKENTÉS – NÖVELES

A meglévő aszfaltrétegek geometriai és anyagi tulajdonságai egy kicsit is gondos tervezés esetében igénylik a meglévő aszfaltréteg egy részének eltávolítását.

Jelenlegi szabályozásunk nem tartalmaz eligazítást, a kialakult gyakorlat pedig pazarló (jellemzően pótolni kell az eltávolított vastagságot, majd ezután alkalmazni az erősítést).

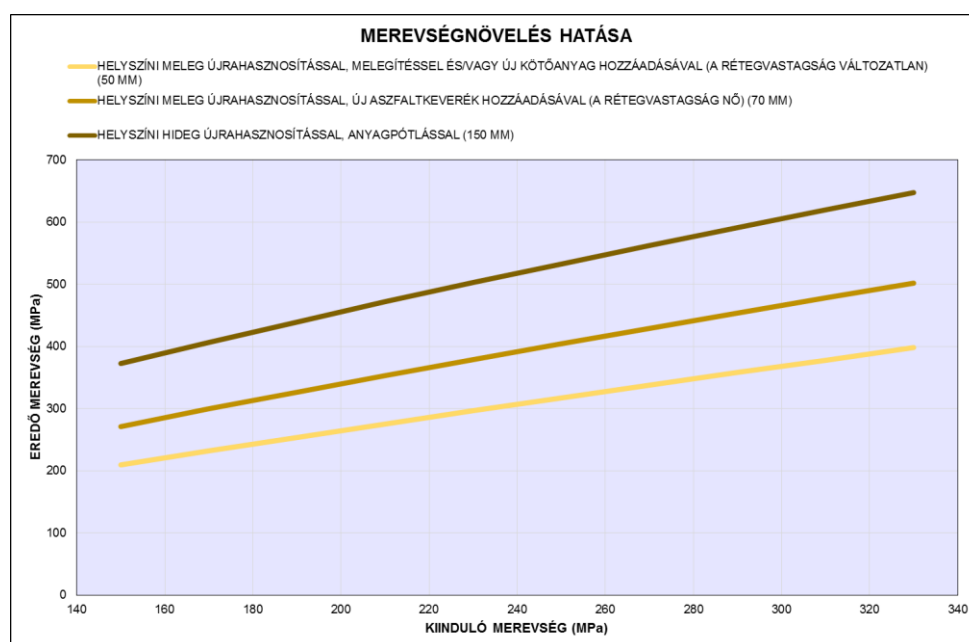
Az újrahazsnosítási eljárások sem méretezhetők a meglévő szerkezet „eltávolítása” nélkül.

Ezért – Odemark – képletét felhasználva egy könnyen használható megoldást tartalmaz a tervezet, aminek hatását a 6. ábra mutatja be.



6. ábra: Eredő merevség a kiinduló merevség és az eltávolított rétegvastagság függvényében

Alapvetően az újrahasznosítási eljárások esetében kérdés, hogy az átalakított meglévő szerkezet rész milyen mértékben növeli a pályaszerkezet merevségét. Ezekre az esetekre lett kidolgozva egy képlet, amivel ez az eredő merevség számítható, a képlet hatását a 7. ábrán lehet tanulmányozni.



7. ábra: Az újrahasznosítási eljárások merevségnövelő hatása

4.8. MÉRETEZÉSI RÉSZ – SZAKASZ

Az eljárás pontosítja az azonos megerősítési módszerhez tartozó és egyidejűleg homogén szakasz (ezt nevezzük méretezési rész – szakasznak) meghatározásának módját, a homogenitásnak a jelenleginél lényegesen szigorúbb feltételével. Ennek során ugyanakkor figyelembe vehetők a lokális javítások, az elnedvesedést korlátozó megoldások stb. illetve a kiugróan „jó” értékek is. Az eljárás ad bizonyos egyszerű segédmódszereket a homogenitás meghatározására, javasolható a következő cikk tanulmányozása is (18).

4.9. ALKALMAZHATÓ ASZFALTOK ÉS TULAJDONSÁGAIK

Jelenlegi szabályozásunk egyféle aszfaltkeveréket ismer.

Az aszfalttechnológia ma már lényegesen többet tud, a következő táblázatban tanulmányozhatjuk az alkalmazott (méretezési paraméterrel ellátott) aszfaltkeverékeket.

2. táblázat: Méretezési aszfalt paraméterek

MÉRETEZÉSI ASZFALT PARAMÉTEREK			
ASZFALTKEVERÉK TÍPUSA	MÉRETEZÉSI MODULUS (MPa)	POISSON TÉNYEZŐ	MEGENGEDETT MEGNYÚLÁS (mstrain)
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	3500	0,35	340
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG, VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	3500	0,35	380
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	6000	0,35	220
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (N, F) MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	6000	0,35	320
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	10000	0,35	190
ASZFALTKEVERÉK KÖTŐ ÉS ALAPRÉTEG AC (NM) MODIFIKÁLT BITUMEN KÖTŐANYAG VAGY MODIFIKÁLT ASZFALT	10000	0,35	220

A háromféle alap aszfaltkeveréket egyenként két fáradási kategóriába sorolva az eljárás alkalmazásánál a használatnak sokkal nagyobb mozgástere lesz.

5. A SZÜKSÉGES ASZFALTVASTAGSÁG MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDJA

Az eddig ismertetett sajátosságokon túl egy speciális részét a szabályozástervezetnek részletesebben is ismertetem.

5.1. A SZÁMÍTÁSI KÉPLET ÉS A MEGADOTT PARAMÉTEREK

A normaszövegben szerepel a szükséges aszfaltvastagság meghatározásának képlete.

$$V_{aszf.szuks.} = E_{mertekeado} \cdot (A \cdot \ln TF - B) + (C \cdot \ln TF - D) \quad (2)$$

ahol:

$V_{aszf.szuks.}$ - a szükséges erősítő aszfaltvastagság (mm)

$E_{mertekeado}$ - a méretezési rész – szakaszra megállapított mértékadó egyenértékű felületi modulus

TF a tervezési forgalom (egységtengely számban)

A,B,C,D - a választott aszfaltkeverék és terhelési viszonyoknak megfelelő paraméterek

A paramétereket a 3. táblázat tartalmazza. A 2. táblázathoz képest megkészsereződtek az aszfalttípusok, ennek oka az, hogy a reflexiós repedéssel terhelt szakaszokon az új aszfalttrétegek igénybevételei nagyobbak, a számításban ezt figyelembe kellett venni. Látható, hogy a képlet meglehetősen „felhasználóbarát” azaz az inputok $E_{mertekado}$, TF, az alkalmazandó aszfalttípus és a terhelési körülmények) függvényében egy lépésben adja a szükséges aszfaltvastagságot.

3. táblázat: Paraméterek értéke a szükséges aszfaltvastagság számításához

ASZFALTFAJTA ÉS KÖRÜLMÉNYEK	PARAMÉTEREK			
	A	B	C	D
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,029	0,648	16,92	111,72
KOPÓRÉTEGKÉNT HASZNÁLHATÓ AC (N, F) ASZFALTKEVERÉK ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,0195	0,4797	19,099	119,12
ASZFALTKEVERÉK 6000 MPa AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,0192	0,5011	22,308	134
ASZFALTKEVERÉK 6000 MPa AC (N, F) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,015	0,4177	25,259	144,92
ASZFALTKEVERÉK 10000 MPa AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG	0,0225	0,4918	17,696	100,34
ASZFALTKEVERÉK 10000 MPa AC (NM) ÚTÉPÍTÉSI BITUMEN KÖTŐANYAG A MEGLÉVŐ PÁLYÁN MOZGÓ REFLEXIÓS REPEDÉSEK VANNAK	0,0163	0,3769	19,167	96,781

5.2. A KÉPLET KIFEJLESZTÉSE

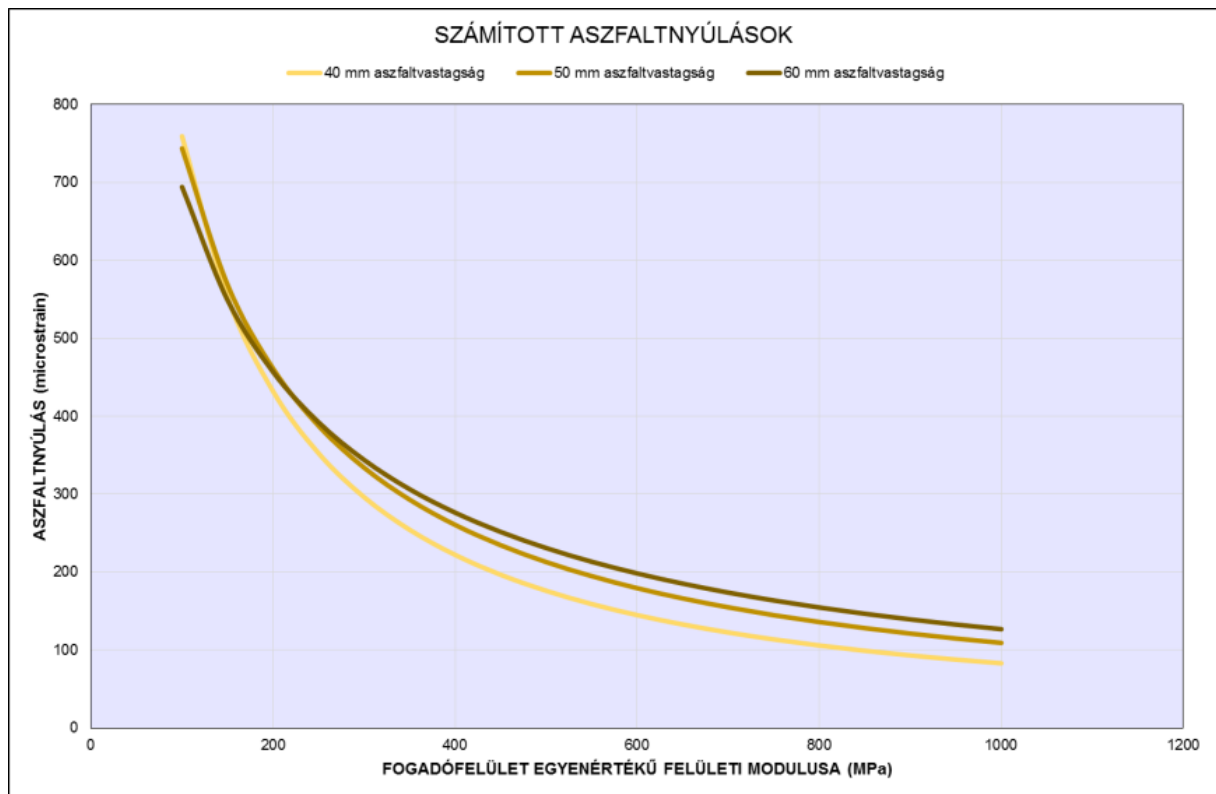
Az „alapok” – ban leírtak ismeretében elvileg a „méretezés” végrehajtható, de az alábbiakban leírtak komoly nehézséget jelentenek:

- a BISAR szoftver viszonylag drága, általános elérhetősége aligha valósítható meg,
- a fent leírt eljárásor lényegében egy ismert keresztmetszet ellenőrzése, tehát, amennyiben „nem felel meg”, az eljárást ismételtetni kell, ami valószínűleg sok időt vesz igénybe.

Ezek miatt az a döntés született, hogy egy képletet kell kifejleszteni, aminek használatához csak számítókapacitás szükséges.

5.2.1. A SZÁMÍTOTT MEGNYÚLÁSOK

Kiszámítottuk különböző merevségű aszfaltokra (3500 MPa, kopóréteg, 6000 MPa, szerkezeti réteg, 10000 MPa, nagymodulusú szerkezeti réteg) különböző fogadófelület egyenértékű modulusra és különböző aszfaltvastagságokra a keletkező megnyúlásokat, ezek közül a 3500 MPa merevségű aszfalttréteget közlöm.



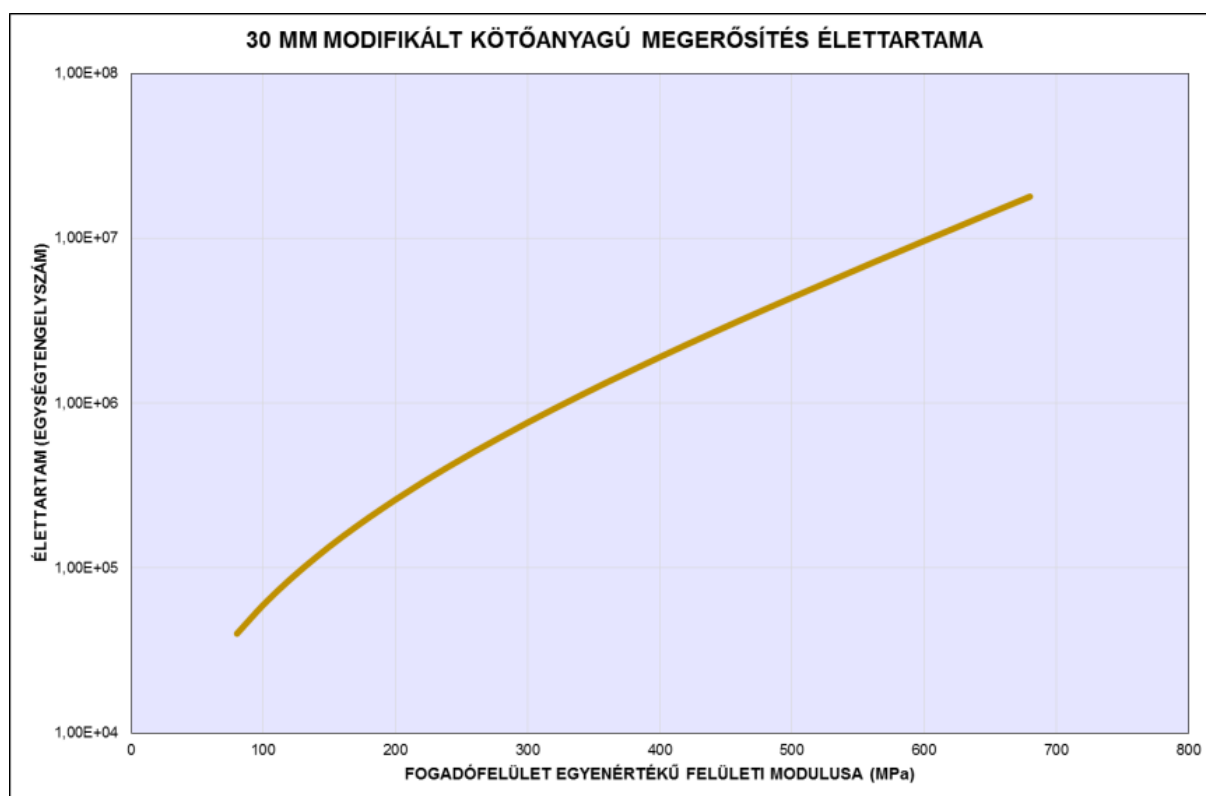
8. ábra: Számított aszfaltmegnyúlások különböző aszfaltvastagságok esetében

A számításoknak az volt a célja, hogy a kapott eredmény sorból regressziós elemzés segítségével a független változók (itt az aszfaltvastagság a másik független változó) értékeiből közvetlenül (azaz egy képlet segítségével, a BISAR „megkerülésével”) lehessen a függő változót meghatározni.

Megjegyzendő, hogy a regressziószámításhoz kell némi kreativitás is, bár az excel függvény és diagram választéka megkönnyíti a munkát.

5.3. SZÁMÍTHATÓ ÉLETTARTAM

A regressziós képlet és a 3.3 pontban szereplő élettartam számító képlet segítségével meghatározható az élettartam, az adott fogadófelület merevség és tetszőleges aszfaltvastagság függvényében, a következő diagramon egy számítás eredményét látjuk.



9. ábra: 30 mm modifikált kötőanyagú megerősítés élettartama

5.4. A SZÁMÍTÓKÉPLET ALAPJÁT ADÓ TÁBLÁZAT LÉTREHOZÁSA

A munka célja egy – a megerősítő aszfalt tulajdonságaitól és a terhelési körülményektől függően változó paraméterekkel bíró – képlet kifejlesztése volt.

Ezt megelőzően a képlet alapját képező táblázatot kellett létrehozni (lásd 4. táblázat).

A számításhoz egy táblázatot hoztunk létre az excel alkalmazásban.

A számítás a következőképpen ment végbe:

- egy kiinduló (jelen esetben 30 mm) aszfaltvastagság élettartamát számoltuk ki a különböző meglévő pálya teherbírások esetében
- a számított élettartamot a táblázatkezelő összehasonlította a felvett tervezési forgalom értékkel (a táblázatban szereplő különböző TF-ek esetére külön lett végrehajtva a számítás)
- amennyiben a számított élettartam kisebb volt, mint a felvett (az összehasonlítást az excel logikai függvénycsomagjával lehetett végrehajtani), a következő számítási lépésben a táblázat 5 mm-el növelte az aszfaltvastagságot
- amennyiben az élettartam kielégítő volt, az aszfaltvastagság a továbbiakban változatlan maradt
- a számításokat ezek után a táblázat ismételte addig, amíg a kellő élettartam minden teherbíróképességnél létre nem jött.

A számítások végeredménye látható a 4. táblázatban.

4. táblázat: Szükséges aszfaltvastagságok egyrétegű erősítéshez; kopóréteggént használható AC, SMA (N, F) modifikált bitumen kötőanyag vagy modifikált aszfalt

ÚTPÁLYASZERKEZET KORRIGÁLT MÉRETEZÉSI TEHERBÍRÁSA N/mm ²	TERVEZÉSI FORGALOM										
	1,00E+05	1,50E+05	2,00E+05	3,00E+05	5,00E+05	7,50E+05	1,00E+06	1,50E+06	3,00E+06	6,00E+06	1,00E+07
	SZÜKSÉGES ASZFALTVASTAGSÁG (mm)										
80	45	50	60	65							

100	40	45	50	55	65						
120		40	45	50	60	70					
140			40	45	55	60	70				
160				40	50	55	65				
180					45	50	60	70			
200					40	45	55	65			
220						40	50	60			
240							45	55	70		
260							40	50	65		
280								45	60		
300								40	55		
320									50	70	
340									45	65	
360									40	60	
380										55	70
400										50	65
420										45	60
440										40	55
460											50
480											50
500											45
520											40
A köztes tervezési forgalom értékre lineáris interpoláció megengedett, az értéket 5 mm pontossággal kell megadni											

A táblázat üres helyei a jobb felső területen az aszfaltfajtára megengedett maximális vastagságnál nagyobb (tehát nem alkalmazható), a bal alsó részen pedig az erősítést nem igénylő megoldásokat jelentik. A számítótáblázat megalkotása után az egyes TF

értékekhez tartozó eredmény másodpercek alatt adódik, azaz a teljes táblázat számítása kb 10–15 percet vesz igénybe. Az így elkészített táblázatok már alkalmasak a méretezésre, de a munkabizottság tagjai kérték a további „képletesítést”, ehhez további regressziós számítások váltak szükségessé, eredményüket már leírtam.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hányatott sorsú megerősítési szabályozástervezet rövid összefoglalóját azzal a céllal írtam meg, hogy az érdeklődők számára fogódzókat nyújtsak annak megértéséhez. Az Útügyi Lapok felépítése lehetővé teszi a közvetlen kommentálást és ezáltal egy lehetséges vitafórumként is képes működni. Örömmel venném, ha lennének reakciók.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- (1) Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság: Fenntartható utak. Kézirat, 2013
- (2) ÚT 2-1.202 [e-UT 06.03.13] Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése
- (3) Id. Dr. Gáspár László Útügyi technológiai továbbképzés (Magyar Közút Zrt – Magyar Útügyi Társaság – Magyar Mérnöki Kamara)
- (4) Huszár János: „Fenntartható utak” projekt keretében megfogalmazott aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek új méretezési módszere. Kézirat, 2015
- (5) Dr. Boromisza Tibor: Útburkolatok behajlása. Mélyépítéstudományi Szemle 1959/12

- (6) Dr. Gáspár László: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének időszerű kérdései Mélyépítéstudományi Szemle, 1965/10-11
- (7) Dr. Gáspár László: Az új útpályaszerkezetek méretezése és a meglévők megerősítése Franciaországban Mélyépítéstudományi Szemle, 1967/12
- (8) Dr. Nemesdy Ervin: Az útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének fejlődése és aszfaltlaboratóriumi alapproblémái Mélyépítéstudományi Szemle, 1977/9
- (9) Dr. Nemesdy Ervin: Útpályaerősítés méretezése mechanikai alapon, lehajlásméréssel., Mélyépítéstudományi Szemle, 1986/10
- (10) Dr. Tóth Ernő – Zsiga Kiss Endre: Az útpályaszerkezetek teherbírásszámításának néhány kérdése., Mélyépítéstudományi Szemle, 1986/10
- (11) Dr. Nemesdy Ervin: Az új magyar típus – útpályaszerkezetek mechanikai méretezésének háttere Közlekedés és Mélyépítéstudományi szemle 1992/8
- (12) Primusz Péter : Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti feltáráshálózatokon PHD értekezés Sopron, 2012
- (13) Per Ullidtz: Modelling Flexible Pavement Response and Performance. 1998
- (14) Márton Karoliny, László Gáspár: Investigation and design of durable pavement structure rehabilitation; 14TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ASPHALT, PAVEMENT ENGINEERING AND INFRASTRUCTURE February 11-12, 2015, Britannia Adelphi Hotel, Liverpool, UK
- (15) Ralph Haas, CM, FCAE,FRSC,FCSCE,PhD,P.Eng. Reinventing the (pavement management) wheel V. Conference of International Society For Asphalt Pavements, Seattle, Washington, 2001. aug. 11-14.
- (16) Karoliny Márton: Megrendelői diszpozíció az útfelújítási munkáknál; Útügyi Lapok 2014 ősz.
- (17) Harri Spoof, Sami Petäjä & Antti Ruotoistenmäki: Pudotuspainolaitemittaus 2000. TPPT Menetelmäkuvaus
- (18) Szentpéteri Ibolya: Útpályaszerkezetek homogén szakaszképzésének tapasztalatai; Útügyi Lapok 2014 tavasz