

15. Bocz, P. – Devecseri, G.: „A 2004 és 2006 között felújított budapesti utak minőségellenőrző vizsgálatainak eredménye”, Városi Közlekedés, 2007/5. pp. 287-291.
16. Bocz, P. – Fi, I.: „Az elmélet és a gyakorlat. Ellentmondások a közutak fejlesztésében és fenntartásában” Mélyépítő Tükörkép Magazin 2008/1.
17. Bocz, P. – Pethő L.: „Aszfalt próbatestek merevségi modulusának meghatározása” Mélyépítő Tükörkép Magazin 2009/3.; (főszerkesztő által elfogadva)

4.) Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent lektorált előadás

18. Bocz, P.: „A Magyarországon alkalmazott korszerű útátjáró megoldások”, előadás, ÉPKO 2001 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, Románia, 2001.
19. Bocz, P–Kisgyörgy, L.: „Dinamikus flottamenedzsment”, előadás, ÉPKO 2003 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, Románia, 2003.

5.) Csak kivonatban megjelent magyar nyelvű konferencia-előadás

20. Bocz Péter: „A kezdeti merevség és a fáradás lefutása közötti összefüggés”, HAPA Fiatal mérnökök fóruma, Ráckeve, 2007. november 8-9.

3.4. Fontosabb ipari tevékenységek

1. Összefoglaló jelentés a Budapest Főváros fő- és mellékútjain végzett kátyúzási munkálatok technológiai és minőségellenőrzéséről, BME Út és Vasútépítési Tanszék, 2005.
2. Minőségellenőrző vizsgálatok a 2005. évben felújított fővárosi utakon, BME Út és Vasútépítési Tanszék, 2005.
3. Minőségellenőrző vizsgálatok a 2006. évben felújított fővárosi utakon, Innotech Kft., 2006.
4. Minőségellenőrző vizsgálatok a 2007. évben felújított fővárosi utakon, Innotech Műegyetemi Innovációs Egyesület, 2007.
5. Meglévő útpályaszerkezetek megerősítésének méretezése, felújítás-technológiák. I.-II. rész, BME Út és Vasútépítési Tanszék, 2008.
6. Előzetes vizsgálatok a Fővárosi Önkormányzat által 2005-2008. években felújításra kerülő útszakaszokkal kapcsolatban, BME Út és Vasútépítési Tanszék, 2005-2008
7. A Fővárosi Önkormányzat 2008. évi útfelújításaihoz alapadat szolgáltatás, Innotech Műegyetemi Innovációs Egyesület, 2008.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar

Tézisfüzet

Az aszfaltkeverékek mechanikai paramétereinek és a pályaszerkezet fáradási élettartamának összefüggései

című PhD értekezéshez

Bocz Péter
okleveles építőmérnök

Tudományos vezető:

Dr. Fi István
egyetemi tanár, tanszékvezető
az MTA doktora

BME Út és Vasútépítési Tanszék
Budapest, 2009.

5. Publikációs jegyzék

1.) Magyarországon megjelent idegen nyelvű lektorált folyóiratcikk

1. Bocz, P., 2009, „*The Effect of Stiffness and Duration Parameters to the Service Life of the Pavement Structure*”, Periodica Polytechnica Ser. Civil Engineering (közlésre elfogadva 2009.03.24)
2. Bocz, P., 2009, „*Pre-Assumption of Final Results of the Asphalt Four-Point Flexing-Beam Fatigue Test*”, Acta Technica Jaurinensis, 2009/2. (közlésre elfogadva 2009.04.15)

2.) Magyar nyelvű lektorált folyóiratcikk

3. Vörös, A – Bocz, P.: „*A közúthálózat fejlesztése által generált, új forgalom meghatározása (I. rész)*” Közlekedéstudományi Szemle 53.évf. 2003/8. pp 292-304.
4. Vörös, A – Bocz, P.: „*A közúthálózat fejlesztése által generált, új forgalom meghatározása (II. rész)*” Közlekedéstudományi Szemle 53.évf. 2003/9. pp 321-328.
5. Bocz, P. – Domonkos, R. – Devecseri, G.: „*A Szajol – Debrecen – Nyíregyháza – Záhony vasútvonal fejlesztése*”, Közlekedéstudományi Szemle 2005/2. pp 55-62.
6. Almássy, K.– dr. Ambrus, K., Bocz, P., Fi, I.: „*Aszfalthalók útépítési alkalmazásai*”. Közúti és Mélyépítési Szemle, 2005/4. pp 30-36
7. Bocz, P. – Devecseri, G. – Fi, I.– Joó, A. – Kovács, D. –Pethő, L.: „*Útpályaszerkezetek szélesítésének technológiai szabályozása*” Közúti és Mélyépítési szemle, 2008/12, pp 6-11.
8. Bocz, P. – Devecseri, G. – Fi, I.– Joó, A. – Kovács, D. –Pethő, L.: „*Aszfaltrácsok szerepe megerősített és szélesített útpályaszerkezetekben*” Közúti és Mélyépítési Szemle 2009/2. pp 1-14.
9. Bocz, P. – Devecseri, G. – Fi, I.– Pethő, L.: „*Meglévő pályaszerkezetek megerősítésének analitikus számítása*” (Közlekedésépítési Szemle 58. évf. 2009/5. pp. 8-22
10. Bocz, P.– Pethő, L.: „*Pályaszerkezetek fűradási élettartamának meghatározása aszfaltanyagok laboratóriumi vizsgálata alapján*” Közlekedésépítési Szemle, 2009. (felelős szerkesztő által elfogadva)

3.) Magyar nyelvű nem lektorált folyóiratcikk

11. Bocz, P., Fi, I., Kisgyörgy, L., Tomaschek, T.: „*Pályabiztonság – Közúti elválasztó és visszatartó rendszerek*”, Mélyépítő Tükörkép Magazin, 2005/4.
12. Almássy, K., Bocz, P., Fi, I., Tompai, Z., 2005., „*A kátyúzásról*”, Mélyépítő Tükörkép Magazin, 2005/6. pp. 15-18.
13. Almássy, K., Bocz, P., Fi, I., Tompai, Z., 2006., „*A 2005. évi fővárosi útfelújítások kivitelezési munkáinak minőségvizsgálatai*”, Városi Közlekedés, 2006/3., pp. 137-138.
14. Bocz, P, 2007., „*Aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei – Próbatesten végzett négyponos vizsgálatok eredményei*”, Mélyépítő Tükörkép Magazin 2006/5.

3. Gyakorlati felhasználási lehetőségek

A disszertációban elemzett fáradási méretezési megoldások közelebb hozzák az aszfaltanyagok laboratóriumi vizsgálati eredményeit az elméleti méretezési módszerekhez. Az egyes aszfaltrétegek mechanikai tulajdonságait célirányosan a pályaszerkezetben elfoglalt helye szerint állíthatjuk be. Itt jegyzendő meg, hogy pl. az útépítésben sokáig elterjedt JU alaprétegek fáradási tulajdonságai nem kimondottan jók, mégis legalsó aszfaltréteggént alkalmazzák azokat. A disszertációm azonban kimutatta, hogy az alsó aszfaltrétegnek van a legnagyobb szerepe a fáradás során, így célszerű a legkedvezőbb mechanikai paraméterekkel rendelkező aszfaltanyagot legalsó aszfaltréteggént építeni.

Természetesen egyéb hatások (pl. plasztikus alakváltozás, repedés áttükröződés) figyelembevételével hosszabb élettartamú pályaszerkezetek tervezhetők, esetlegesen anélkül, hogy a pályaszerkezet vastagságát jelentősen emelnénk. Pethő (2008) doktori disszertációjában egy más megközelítésben, a hőmérsékleti oldalról vizsgálta a pályaszerkezetek élettartamát. Az értekezés módszert ad a fáradás jelenségének hőmérsékletfüggő elemzésére, azonban a módszeréhez az előrebecslő képletekkel meghatározott fáradási görbéket alkalmazza. A hőmérsékleti hatás és az aszfaltanyagok valós fáradási görbéinek ötvözésével a pályaszerkezet fáradási szempontból történő vastagság-meghatározásában előrelépés történhet.

4. További kutatási témák

A disszertációban az aszfaltanyagok fáradási görbéjének előállításához 4 pontos fásasztó berendezés által szolgáltatott adatokat használtam. A fáradási görbe meghatározásának másik, elterjedt módszere a két pontos hajlító-fásasztó vizsgálat trapezoid próbatesteken, amelynél magasabb frekvenciát alkalmaznak. Érdemes lenne összehasonlítani azonos aszfaltanyagokon a kétféle vizsgálati módszert, illetve a kétféle Wöhler-görbét, majd a disszertációban ismertetettek alapján a fásasztóvizsgálat eredményeinek hatását a pályaszerkezet fáradási méretezésére. A vizsgálati módszer eltérő megválasztása általában eltérő eredményt ad, de ebből a kísérletből megtudható, hogy az eltérő eredmények – mint a méretezés bemenő adatai – mennyiben befolyásolják a méretezést.

Hazánkban az új építésű utak mellett nagy szerepet kap az elhasználódott útvagyon megerősítése, újjáépítése. Ebben nagy szerepet kap, hogy a régi pályaszerkezet egyes rétegei a megerősítés után mennyire tudják betölteni a feladatukat, csakúgy, mint az új és a régi aszfaltrétegek együttműködése. További kutatási téma lehet a disszertációban említett módszerek kiterjesztése meglévő pályaszerkezetek megerősítésére.

1. A disszertáció célkitűzései, rövid leírása

A világon a közúti forgalom jelenlegi nagysága és töretlen növekedése okán folyamatosan előtérben van a gazdaságilag és technológiailag egyaránt megfelelő útburkolatok építésének szükségessége. Az útburkolatok építéséhez legnagyobb tömegben felhasznált anyagok az aszfalt és a beton. A két anyag közül az aszfaltkeverékeket alkalmazzák a legszélesebb körben (túlnyomó többségben) burkolatok építésére. Az útpályaszerkezet méretezése több okból is nehézségekbe ütközik: egyrészt a forgalmi terhelés nagyon változatos, emellett dinamikus (ismétlődő) terhelés, illetőleg az útpályaszerkezet jellegénél fogva fokozottan ki van téve a szélsőséges időjárási hatásoknak is, másrészt a földmű, az alaprétegek és az aszfaltanyag tulajdonságai nehezen határozhatók meg pontosan, az anyagok inhomogenitásából következően.

A fenti problémák eltérő súlyozása következtében az aszfalt pályaszerkezetek méretezési szabványai országonként különbözőek. Az 1960-as évek előtti aszfaltburkolat építések során még jórészt tapasztalati alapon méretezték a burkolatokat, majd a '60-as évektől, az ún. AASHO kísérletek hatására indult meg a tudatos pályaszerkezet-méretezés. A további helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok során a technológusok egyre inkább megismerték az aszfaltanyagok mechanikai tulajdonságait, ezek alapján minden ország kidolgozta a saját pályaszerkezet-méretezési eljárását. A gyakorlatban használt méretezési eljárások egyszerűsítéseket tartalmaznak annak érdekében, hogy a tervezés során könnyen használhatóak legyenek. Ennek egyik praktikus formája az ún. típus-pályaszerkezetek rendszere, amelyeket a hazai szabvány is alkalmaz.

Az elkészített dolgozat célja annak vizsgálata, hogy az egyes aszfaltkeverékek – laboratóriumi vizsgálatok során meghatározott – mechanikai paramétereinek alakulása hogyan hat a pályaszerkezet méretezésére, illetve a szükséges pályaszerkezeti vastagságokra. Ennek vizsgálata azért jelentős, mert a jelenlegi (pl. hazai) szabályozás egyszerűsítései elrejtik a jobb minőségi mutatókkal rendelkező aszfaltok kedvező tulajdonságait, és nem veszik számba az azok felhasználásával épített pályaszerkezetek élettartam-növekedését.

A kutatási munka során többféle aszfaltkeveréken (kopó- és kötőrétegek szokásos anyagain egyaránt) merevségi modulus meghatározást, illetve hajlító-fásasztó vizsgálatot végeztem. E vizsgálatok végeredménye az aszfalt burkolatok fáradásra történő méretezésének két legfőbb bemeneti adata.

A dolgozatban kimutatom, hogy az egyes aszfaltkeverékek valós paraméterei hogyan befolyásolják a burkolat fáradási élettartamát. Például az aszfalt- és bitumentekológia fejlődése során kidolgozott modifikált bitumenekkel gyártott aszfaltkeverékek jobb merevségi és fáradási tulajdonságai módot adnak arra, hogy a pályaszerkezet kisebb rétegvastagságokkal – azaz gazdaságosabban – épüljön meg, mint a jelenlegi előírások. Jelen dolgozat ezt a lehetőséget csak a pályaszerkezetek egyik tönkremeneteli módja, a fáradás szempontjából vizsgálja, a rétegvastagságok mérlegelésénél számos egyéb szempont is közrejátszik.

2. Tézisek

2.1. Nagy számú aszfaltkeverékből készült próbatetek IT-CY merevségi vizsgálatának elvégzése alapján megállapítható, hogy a Verstraeten által kidolgozott előrebecslő képlet a jelenleg gyártott aszfaltanyagokon is – a modifikált bitumenekkel készült kopóréteg-keverékek kivételével – jól becsüli előre az aszfaltkeverék összetétele alapján a merevségi modulus, azaz az előzetes tervezéshez jól használható [17]

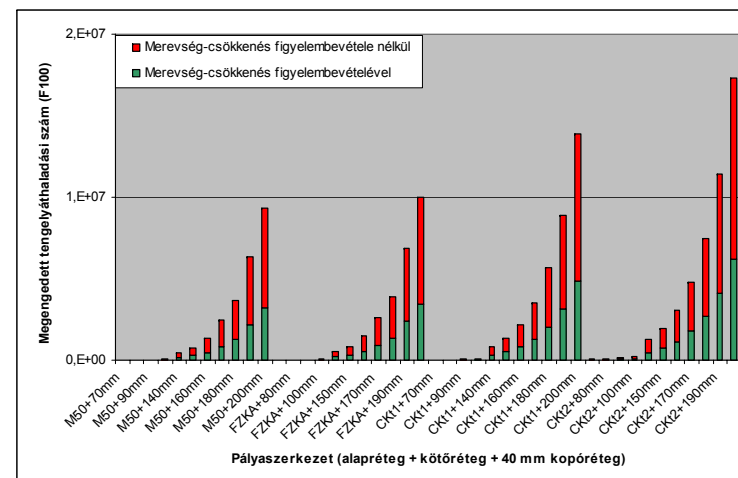
A vizsgálat során számított és mért merevségi modulus értékek eltéréseit az alábbi 1. táblázatban foglalom össze. Megállapítható, hogy főként a modifikált bitumenes kopórétegek számított merevségi modulusai nem közelítik meg a mért értékeket. A modifikált bitumenes kötőréteggel készített keverékek esetében azonban az eltérés jónak mondható.

1. táblázat A mért és a számított merevségi modulusok eltérésének átlaga keveréktípusonként

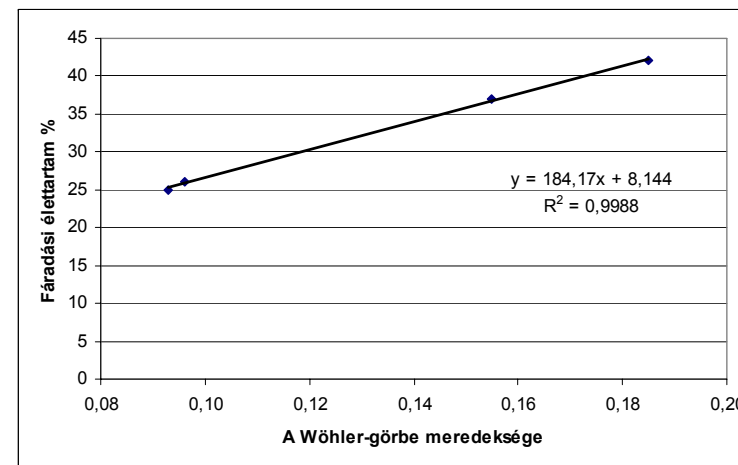
Keveréktípus jele	Vizsgált ömlesztett aszfaltanyagok száma	A mért és a számított merevségi modulus eltérésének átlaga (%)
AB-11/F	11	-18 %
AB-12/F	46	-18 %
AB-16/F	8	-1 %
K-20/F	29	+12 %
K-22/F	14	+3 %
mAB-11/F és mAB-12/F	18	-51 %
mK-20/F és mK-22/F	10	-9 %
mZMA-11 és mZMA-12	21	-61 %
Összes keverék	157	

2.2.1. Az aszfalt próbatetek négyponos hajlító-fárasztó vizsgálata során a próbatest viselkedését nem csak a kezdeti merevség 50%-ához tartozó ciklusszám, hanem a ciklusszám–merevségi modulus görbére illesztett egyenes meredeksége is meghatározza [2].

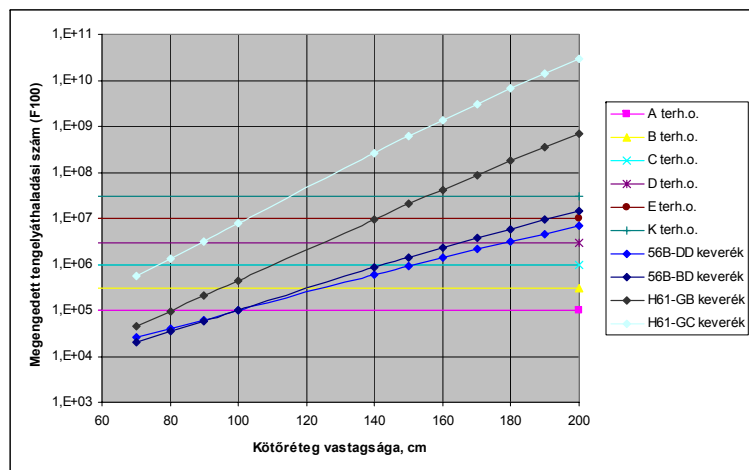
Az aszfalt próbatetekeken végzett négyponos hajlító-fárasztó vizsgálatok során ábrázoltam a teherismétlési szám – merevségi modulus függvényét (lefutási görbét), amelyre példaként szolgálnak az 1. ábrán látható görbék.



9. ábra Megengedett teherismétlési számok 56B-BD (K-20/F) jelű kötőréteg alkalmazásával



10. ábra A Wöhler-görbe meredeksége és a merevség-csökkenés miatti élettartam összefüggése



8. ábra Alkalmazható aszfaltvastagságok a (150 mm vastagságú CKt alaprétteg)

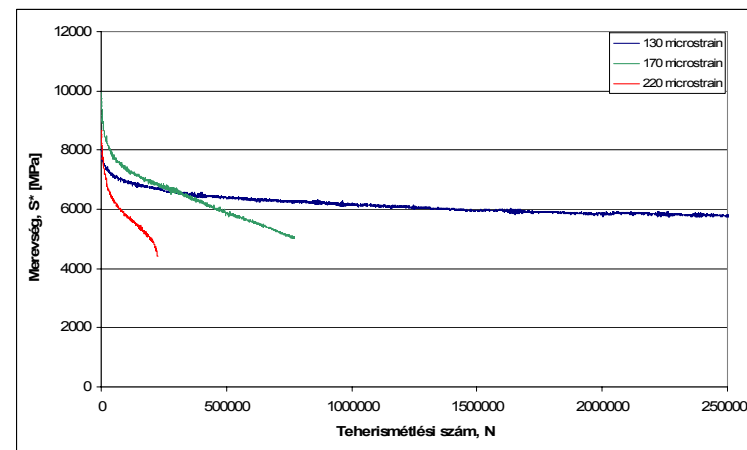
2.6

A pályaszerkezet fáradása során fellépő merevség-csökkenés visszahat a pályaszerkezetben kialakuló igénybevételekre. A pályaszerkezet számított élettartama a Miner-hipotézis szerint, a pillanatnyi merevség-értékekből számított igénybevételekből adódó rész-fáradások összegzésével alakul. A Wöhler-görbe meredekségének ismeretében a hatás élettartam-csökkentő hatása jól becsülhető [10]:

$$N = \left(\frac{\varepsilon}{a} \right)^{1/b} \cdot (-1,8417b + 0,08144)$$

Az aszfalt burkolat fáradása során a merevség csökken. A merevségcsökkenés a pályaszerkezeti modellben változást idéz elő, azaz a csökkenő merevségű kötérréteg nagyobb aszfalt szélső szál megnyúlást produkál. A nagyobb aszfalt szélső szál megnyúlással a merevség csökkenése intenzívebb lesz, azaz egy öngerjesztő folyamat alakul ki. Ennek hatására a fáradás rohamosabban megy végbe, mint ha a kezdeti merevség alapján számított aszfalt szélső szál megnyúlás és a Wöhler-görbe által megadott élettartamot vennénk figyelembe. Egy példát az élettartam csökkenésére a 9. ábra mutat be.

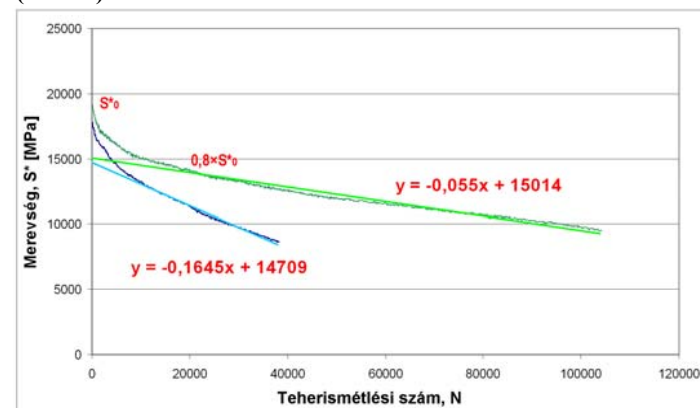
A Wöhler-görbe hajlása minél laposabb, annál jobban érvényesül ez a hatás, hiszen a rendszer annál érzékenyebb a szélső szál megnyúlásra. A Wöhler-görbe meredeksége és az élettartam-csökkenés között korrelációt állítottam fel, amely a 10. ábrán látható.



1. ábra A fáradás lefutási görbéje

2.2.2. A ciklusszám – merevségi modulus görbe két elkülöníthető szakaszból áll: a kezdeti merevség 80%-áig tartó konkáv, a kezdeti merevség 80%-ától a tönkremenetelig egy közel lineáris szakaszból. A lineáris szakaszra illesztett regressziós egyenes korrelációs együtthatója az esetek nagy részében $R^2 > 0,9$. [2]

A számítások során a lefutási görbe két szakaszának elkülönítése után a lineáris szakasz célszerű értelmezési tartományának megállapításához a kezdeti merevség bizonyos százalékától a vizsgálat végéig adódott teherismétlési szám; merevségi modulus értékpárookra regressziós egyenest illeszttem. Úgy találtam, hogy a kezdeti merevség 80%-ától kezdődően már minden esetben 0,9 feletti korrelációval illeszthető egyenes a fáradás lefutási görbéjére (2. ábra).



2. ábra A lefutási görbére illeszthető lineáris egyenesek

2.2.3. A hajlító-fárasztó vizsgálat lefolytatása során a regressziós egyenesek egyenletéből számított, tönkremenetelhez tartozó ciklusszám jól becsülhető akkor is, ha a próbatestet nem fárasztjuk el a tönkremeneteli kritériumig ($N_{50\%}$), hanem csak a kezdeti merevség 60%-áig. ($N_{60\%}$). Amennyiben a fárasztást csak a kezdeti merevség 60%-áig végezzük el, úgy a laboratóriumi vizsgálat (kb. 2-3 hét) időigényének kb. 25%-a (kb. 0,5-1 hét) megtakarítható. [2].

A **2. táblázatban** látható négyféle aszfaltkeverék fárasztási vizsgálatait elemezve a lefutási görbére a kezdeti merevség 80%-ához tartozó értéktől kezdődően a kezdeti merevség 70%, 60%, 50%-os értékig regressziós egyenest illesztettem. Az egyes próbatestek lefutási görbéjéhez ilyen módon tartozó regressziós egyenes egyenletének meghatározása után a tönkremenetelhez tartozó teherismétlési szám ($N_{S0/2}$) értéket a regressziós egyenes egyenletéből becsültem. Az így kapott teherismétlési számokat Wöhler-görbében ábrázolva a táblázatban látható $N=10^6$ teherismétlési számhoz tartozó igénybevétel (microstrain) értéket kaptam. Az értékek a kezdeti merevség 60%-áig folytatott kísérletekből történt becslések esetében jól megfelelnek a teljes egyezményes tönkremeneteli kritériumig fárasztott próbatestekből kapott végeredménynek.

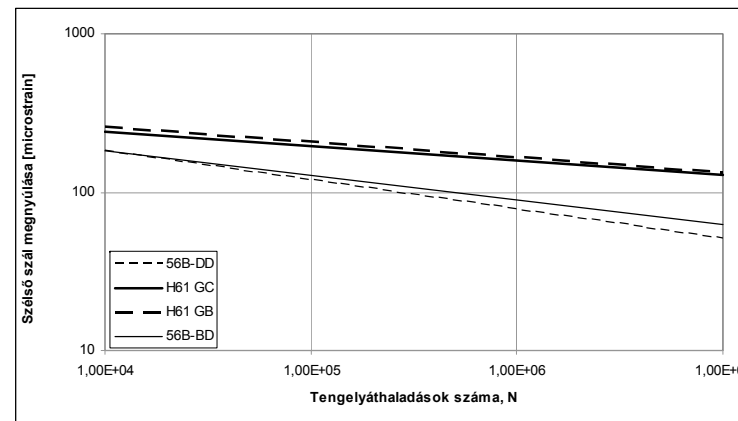
2. táblázat A vizsgált aszfaltanyagok fáradási eredményei

Keverék azonosító	A fáradás lefutásának időtartama a kezdeti merevség százalékában		
	50%	60%	70%
	[microstrain]		
H61 GB	166	166	159
56B-BD	91	100	105
56B-DD	79	76	104
FB6-B	109	109	108

2.3.1. A típus pályaszerkezetek kopórétegeiben csak akkor lép fel jelentősebb szélső szál megnyúlás, amennyiben az aszfalrétegek között teljes elcsúszás tapasztalható, amely a gyakorlatban csak extrém esetekben fordulhat elő. [1]

A jelenlegi hazai méretezési utasítás (ÚT 2-1.202 jelű Útügyi Műszaki Előírás) alapján definiált pályaszerkezetekben az egyes rétegek merevségi modulusát változtatva meghatároztam az igénybevételeket az aszfalrétegek alsó szélső szálában. A pályaszerkezeti variációk az alábbiak:

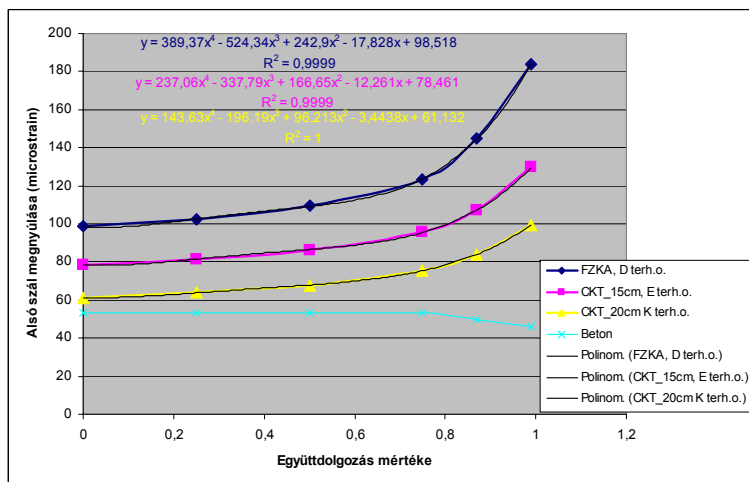
- 5 típusú alaprétteg (M56, FZKA, CKt-150 mm, CKt-200 mm, soványbeton);
- 5-féle altalaj-teherbírási modulus (40, 50, 60, 70, 80 MN/m²);
- 3-féle kopórétteg (AB-11/F) merevségi modulus (laboratóriumi mérések minimum, átlagos, maximum értékei);
- 3-féle kötórétteg (K-22/F) merevségi modulus (laboratóriumi mérések minimum, átlagos, maximum értékei);
- 5-féle rétegek közötti elcsúszás érték;



7. ábra Vizsgált aszfaltkeverékek fáradási (Wöhler-) görbéi

2.5. A pályaszerkezet szükséges vastagsága (v) és a megengedett tengelyáthaladási szám (TF) között exponenciális kapcsolatot állapítottam meg, amennyiben az egyéb paraméterek változatlanok. Az exponenciális kapcsolatot leíró $TF = a \cdot e^{bx}$ görbe a , b paramétereinek ismeretében megállapítható az adott aszfaltanyag alkalmazása esetén a kötórétteg+felső alaprétteg együttes rétegvastagsága [10].

A 10 milliméteres lépésekben változtatott kötórétteg-vastagságú pályaszerkezeti modellek mindegyikére (a **3.2. tétel** alapján) kiszámítottam a szélső aszfaltszál megnyúlását a mért kezdeti merevségi modulus függvényében. Ezek után meghatározható volt a laboratóriumban felvett Wöhler-görbe alapján a pályaszerkezet fáradási élettartama. A kötórétteg vastagsága és a megengedett teherismétlési szám közötti összefüggés egy példája a **8. ábrán** látható, a megengedett teherismétlési számot logaritmikus léptékben ábrázoltam. A két mennyiség közötti kapcsolat exponenciális, amelynek egy adott aszfaltanyagra meghatározhatók a konstans paraméterei.



6. ábra Az aszfalt alsó szálának megnyúlása a rétegek közötti elcsúszás függvényében

2.4. Az alsó aszfaltrétegekben használatos aszfaltkeverékek laboratóriumban mért merevségi modulusa és Wöhler-görbéje együttesen nagymértékben befolyásolja a pályaszerkezet fáradási élettartamát. A kezdeti merevség növekedése elsősorban a kisebb tengelyáthaladási számoknál, a Wöhler-görbe hajlása pedig elsősorban a nagyobb tengelyáthaladási számoknál jelent előnyt a pályaszerkezet vastagságának meghatározásakor [10].

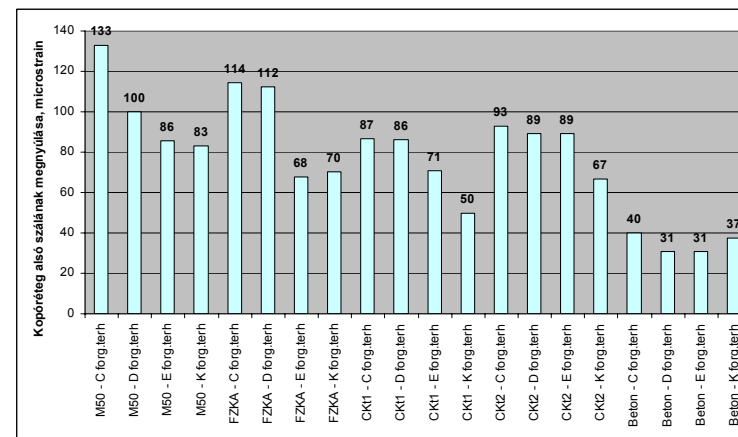
Bemutattam a pályaszerkezetek fáradásra történő méretezését abban az esetben, ha a pályaszerkezeti modell számítása során konkrét aszfaltanyagokat alkalmazunk. Két normál és két modifikált bitumennel készült keveréket alkalmaztam (7. ábra), amelyeken elvégeztem a méretezés során adódott szükséges rétegvastagság összehasonlítását.

vagyis a 4-féle forgalmi terhelési osztályban (C, D, E, K) fejenként 1125-féle pályaszerkezetet definiáltam.

A számítások alapján adódott, hogy a kopóréteg alsó szélső szálának megnyúlása csak szélsőséges esetben (a rétegtapadás teljes hiánya esetén) érhet el kifáradásra veszélyes értéket (3. ábra), egyéb esetben a kopóréteg teljes terjedelme a nyomott zónába kerül. A 3. táblázatban a kopóréteg és a kötőréteg 50%-os együtdolgozására vonatkozó számítás látható, a számítás tanúsága szerint az alsó szál megnyúlása még ez esetben is elenyésző.

3. táblázat A kopóréteg alsó szálának megnyúlási spektruma a típus pályaszerkezetekben, 50%-os (félig) együtdolgozás esetén (microstrain)

Alapréteg típusa	Forgalmi terhelési osztály			
	C	D	E	K
M56 (200mm)	-12 ÷ +5	-22 ÷ -35	-13 ÷ -19	-3 ÷ -9
FZKA (200mm)	-7 ÷ -20	-23 ÷ -36	-20 ÷ -30	-10 ÷ -17
CKt (150mm)	-16 ÷ 32	-21 ÷ -32	-20 ÷ -30	-17 ÷ -25
CKt (200mm)	-2 ÷ -14	-9 ÷ +1	-7 ÷ -18	-8 ÷ -16
soványbeton (150mm)	4 ÷ 11	-7 ÷ -2	-8 ÷ -2	0 ÷ -3



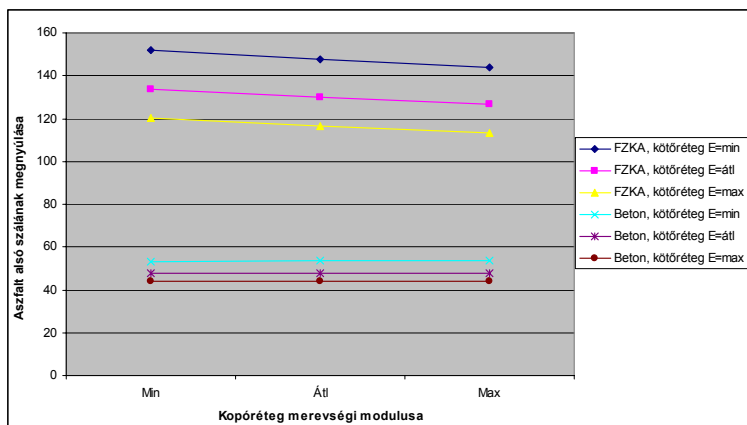
3. ábra Az aszfalt kopóréteg alsó szélső szálának megnyúlása a típus pályaszerkezetekben, teljes elcsúszás feltételezésével

2.3.2. A típus pályaszerkezetek alsó aszfaltszálának megnyúlását a kopórétegek merevségi modulusa kevéssé, a kötőrétegek merevségi modulusa azonban jelentősen befolyásolja. Az alsó szélső szál megnyúlása a kötőrétegek merevségi modulusának függvényében – jó korrelációs együtthatóval ($R^2 > 0,99$) – hatvány függvény szerint csökken [1].

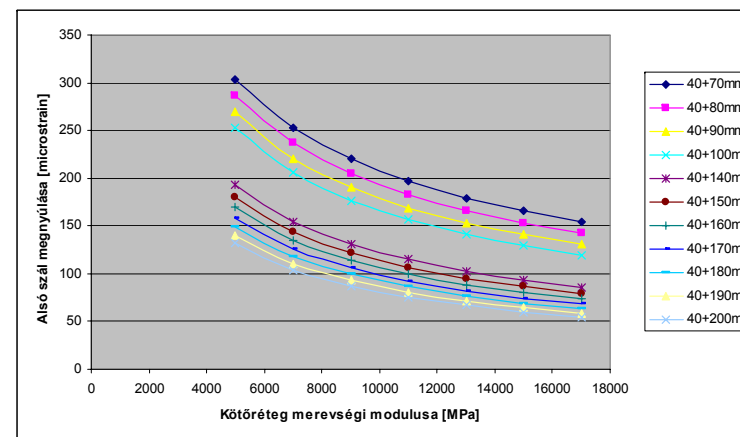
A típus pályaszerkezetek analízise során kapott adatokból kimutatható volt, hogy a fáradás szempontjából mértékadó igénybevétel a pályaszerkezet alsó aszfaltszálának megnyúlása, hiszen ez minden esetben elérhet kifáradásra veszélyes határértéket. Az alsó szál megnyúlását a kopórétegek merevségi modulusa kevéssé (**4. ábra**), a kötőrétegek merevségi modulusa jelentősen (**5. ábra**) befolyásolja, így további számításokat ezzel a kérdéssel végeztem.

Olyan pályaszerkezeti modelleket állítottam össze, ahol a kopóréteg vastagsága és merevsége nem változik (40 mm, $E=10000$ MPa), azonban a kötőréteg és a felső alaprég összes vastagságát 1 cm-es lépcsőkben növeltem, annak érdekében, hogy pontosan megállapíthassam a kötőréteg merevségének hatását az igénybevételekre.

A kötőréteg merevségének és rétegvastagságának függvényében jó korrelációval megadható egy hatvány görbe, amelyből az alsó szál megnyúlása számítható.



4. ábra Az aszfalt alsó szálának megnyúlása a kopóréteg merevségének függvényében



5. ábra Az aszfalt alsó szálának megnyúlása a kötőréteg merevségének függvényében (150 mm vtg. CKt alaprég)

2.3.3. Az aszfaltrétegek közötti elcsúszás és az alsó aszfaltréteg szélső szál megnyúlása által meghatározott függvényre jó korrelációval ($R^2 > 0,99$) egy negyedfokú parabola illeszthető. A rétegek közötti elcsúszás 50%-os értéke felett az alsó aszfaltszálban keletkező igénybevételek rohamosan növekednek, így a pályaszerkezet fáradási élettartama jelentősen csökkenhet. A számítások szerint a teljes elcsúszás esete a teljes együttlőgözáshoz képest 70-80%-os, a félig együttlőgözás esetéhez képest pedig 55-65%-os megnyúlás-nővekedést okoz az aszfalt alsó szélső szálában. A számításban a rétegek közötti elcsúszás csupán az aszfaltrétegek között változott, a legalsó aszfaltréteg és az alaprég között minden esetben teljes elcsúszást vettem figyelembe [1].

A **6. ábrán** látható görbék tanúsága szerint a kivitelezéskor elengedhetetlen, hogy a rétegek együttlőgözására fokozottan ügyeljenek, hiszen az 50%-os elcsúszás feletti tartomány már rohamosan emeli a szélső szál megnyúlását, ami az élettartamot rohamosan csökkenti.