

Pályaszerkezet hátralévő élettartam becslés a keréktalperő erő alapján

Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek várható élettartamának megállapítására többféle matematikai számítás létezik. Ezek a számítások a burkolat behajlása által az aszfaltréteg alsó szálában keletkező fajlagos megnyúláson alapszanak. Mivel az aszfaltburkolat tönkremenetelének ez az egyik kritikus szempontja, ezért fontos ennek a lehető legpontosabb meghatározása.

DOI 10.24228/KTSZ.2020.6.2

Mika Péter

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
Széchenyi István Egyetem, Győr
e-mail:mika.peter@ga.sze.hu

1. BEVEZETÉS

Régóta kutatott téma az aszfaltburkolat tönkremenetele. Az 1950-es években kezdődött AASHO útkísérletek óta számos matematikai módszert dolgoztak ki a hátralévő élettartam meghatározására [1],[2],[3].

Napjainkban elterjedően vannak az útpályaszerkezetek roncsolásmentes vizsgálatai, mert ezekkel elkerülhető a vizsgálati tárgy esztétikai, illetve szerkezeti károsodása, emellett költséghatékony a megoldás. Legyen szó épületről [4], gépről vagy jelen esetben az útburkolatról [5]–[7], minden területen jelen van ez a vizsgálat típus. 1957-58-ban az Útügyi Kutató Intézet javaslatot készített a közutak megfelelőségi osztályozására. Ez az útszakasz műszaki jellemzőinek felvételét jelentette, amiket részben üzemi, biztonsági, részben pedig a szerkezeti jellemzők csoportjába sorolták. A megfelelőségi mutatót ezekre a jellemzőkre adott pontszám alapján állapították meg. A jellemzők egy részének értékelése szubjektív módon, egy része pedig fizikai méréssel történt [8]. Ma már sok mérést

szenzorok segítségével lehet elvégezni, akár egy okostelefonnal, mivel ezekbe az eszközökbe olyan szenzorokat építenek be, amik egy mérőműszer pontosságával megegyezők. Tehát ezek a készülékek mérőeszköznek tekinthetők.

A részletes útállapot-felvétel során a pályaszerkezet teherbírására is sor kerül, amire többféle módszer létezik [9], [10]. A legelterjedtebb, amit Magyarországon is használnak az az FWD (Falling Weight Deflectometer). Ez a módszer a behajlási teknőt méri, amit egy ejtősúly okoz. Jellemzője a műszernek a nagy önsúly valamint az, hogy jármű után kapcsolható mozgatható. A behajlási teknőből állapítható meg a teherbírás mértéke, amiből hátralévő élettartamot lehet becsülni, vagyis a becslés alapja a behajlás.

A gépjármű az út használója és rongálója is egyben. A legfontosabb paraméter, amely a használatból származó tönkremenetelt okozza a tengelyterhelés, ezért fontos a gépjárműgyártók és a közúti szakemberek közti álláspontok megvitatása. Ha az elmúlt fél évszázadot tekintjük és összehasonlítjuk a meglévő útháló-

zat hosszát és a gépjárműállományt a 2019-es adatokkal, akkor azt tapasztaljuk, hogy a gépjárműállomány arányszáma több mint tízszerese az úthosszénak. 1955-ben a magyarországi közúthálózat makadám rendszerű úthálózatának hossza 22 655 km, ez 2019-ben 164 539 km. A gépjárműállomány 1955-ben 32 447 db volt, míg ez 2019-ben 3 812 013 db [11]. Ha elosztjuk a mai értékeket az 1955. évivel, akkor a gépjármű arány 117,48 az úthossz arány mindössze 7,26. Ha a jármű darabszámot viszonyítjuk az úthálózat hosszához és feltételezzük, hogy mind mozgásban van, az eloszlásuk pedig egyenletes, akkor megkapjuk a hálózaton kialakult forgalomsűrűséget. Ez a sűrűség 1955-ben 1,43 jmű/km, míg 2019-ben már 23,16 jmű/km-re emelkedett. Az elmúlt évek statisztikáit megnézve látható, hogy a motorizációs szint emelkedésével együtt jár az úthálózat növekedése is. Az is megfigyelhető, hogy az útépités, úthálózat-fejlesztés mindig lemarad a gépjárműállomány fejlesztéséhez képest. Nagyon fontos, hogy a forgalomsűrűség értéke ne haladja meg a kritikus értéket, mert az rendkívüli módon csökkenti az úthálózat kapacitását, ez pedig fokozottan csökkenti a várható élettartamot. A fundamentális diagram alapján a kritikus forgalomsűrűség felett csökken a forgalomáramlás sebessége, a lassú jármű pedig nagyobb kárt okoz az aszfalt burkolatban.

A vizsgálatom célja egy olyan hátralevő élettartamot becselő módszer kidolgozása, ami kisebb és egyszerűbb eszközzel megvalósítható, valamint a valós kerékterhelésen, az útfeület egyenletlenségen és a forgalomáramlás sebességén alapszik.

Az útpályaszerkezetek vagy útburkolatok élettartamának meghatározása az útgazdálkodásban nagy jelentőséggel bíró műszaki-gazdasági tényező. Már a tervezési fázisban is az élettartamra végzik a pályaszerkezet méretezését. A szerkezet tervezésekor a kiindulási paraméter a tervezési forgalom (TF) az Útügyi Műszaki Előírás szerint. Ezt a forgalmat bonyolult képlet alapján előrebecslik a tervezési élettartamra, majd egy táblázat segítségével kiválasztják a típus-pályaszerkezetet. Ebből látszik, hogy az élettartam szempontjából kiemelt szerepe van a forgalomnak, hiszen ez jelenti a fő terhelést. Ahhoz, hogy

kiderüljön melyik tényező van a legnagyobb hatással a hátralevő élettartamra a matematikai modellekben szereplő tényezők vizsgálatára van szükség. Ebből a vizsgálatból kiderül az is, hogy a valós kerékterhelésen alapuló matematikai modell, mennyire áll közel más modellekhez, illetve alkalmas-e a kerékterhelésből a felületi egyenletlenséget és a forgalomáramlás sebességét figyelembe véve a hátralevő élettartam becsülésére.

2. HÁTRALÉVŐ ÉLETTARTAM SZÁMÍTÁS

Először a szakirodalomban megtalálható néhány hátralevőélettartam-becslést bemutató matematikai modellt tekintek át. Több kutató is foglalkozott ezzel a témával [12] [2] [3]. Az útburkolat élettartambecslése nem egyszerű feladat, mivel több tényező befolyásolja, ráadásul egy rendszer része, tehát nem csak a burkolatnak, de az út egyéb részeinek is van egy élettartama, mint például a földmű, az úttartozékok, a műtárgyak és ezek egymás élettartamára is hatással vannak. Az egyes részrendszerek más anyagokból készülnek, más funkciót látnak el és az életciklusuk is eltérő. Minden egyes rész külön karbantartási terv szerint időnként felújításra kerül, így maga az út, mint rendszer élettartama tervezhető és hosszú távon fenntartatható lesz. Egy esetleges útfelújítás során, egészen a kopóréteg javításától a teljes pályaszerkezet és egyéb úttartozékok és részrendszerek felújításáig terjedhet a feladatvégzés. Azt, hogy milyen mértékben kell a pályaszerkezet-hoz hozzányúlni, a károsodás jellege határozza meg. A felújítás időszereúségére és mértékére a technológia is hatással van, hiszen ha rendelkezésre áll olyan eszköz, amellyel teljesen a helyszínen újra lehet építeni a teljes pályaszerkezetet a meglévő visszabontott anyagokból, akkor nagyobb mértékű károsodás is megengedhető. Ezzel szemben, a hagyományos útépitő gépekkel kisebb részletekben és nagyobb gyakorisággal kell beavatkozni az állagmegóvás érdekében. Az Amerikai Egyesült Államokban létezik olyan útépitő gépsor, amely elbontja a teljes pályaszerkezetet, majd újra építi azt.

A legtöbb esetben a burkolat hátralevő élettartamának becslése a behajlás méréséből adódik. Hazánkban behajlásmérések

már az 1950-es években is történtek. Az első „billenőkaros” behajlasmérő készülék 1955-ben készült el [6]. A behajlás mérése jellemzően drága és időigényes munkával lehetséges, amelyre több fajta eszköz is rendelkezésre áll, úgymint az FWD (Falling Weight Deflectometer), a Benkelman tartó, a Lacroix mérőkocsi, a Curivameter, a TSD (Traffic Speed Deflectometer). Egy olcsóbb mérőeszköz a Benkelman tartó továbbfejlesztésével foglalkozott Primusz [12], amely során a hagyományos analóg mérőeszközt digitálisra cserélte, így gyorsítva a mérést.

A pályaszerkezet hátralévő élettartamának, a megengedhető forgalom pontosabban az egy-ségtengely áthaladások számának meghatározását különböző módon lehet számítani. Az egyik az AASHO útkísérletből az alábbi képlettel számítható:

$$F_{100}^{eng} = 10^{(5,271 - 4,55 \lg(s_m))} \quad (1)$$

ahol,

F_{100}^{eng} : A burkolat tönkremenetelig megengedhető forgalom, (100 KN e.t áthaladás [db])

s_m : A vizsgált szakasz mértékadó behajlása [mm]

A homogén szakaszok mértékadó behajlása:

$$s_m = \bar{s} + c \cdot \sigma \quad (2)$$

ahol,

\bar{s} : a vizsgált szakaszon mért behajlások átlaga [mm]

c : megbízhatósági szorzó, javasolt értéke 1,6-2,0 közötti

σ : a vizsgált szakaszon mért behajlások szórása [mm]

Ez a számítás empirikus úton alakult ki és azt a megengedett forgalmat jelenti, amelynél a pályaszerkezet használhatósági indexe egy előre megadott érték alá csökken.

Ha csak a burkolat tönkremenetelét vizsgáljuk, akkor mechanikai számításokból levezetett

megoldást kell választanunk. A kerékterhelésből behajlási teknő alakul ki a burkolaton, amelyből származó görbületi sugár felhasználásával számítható az aszfaltburkolat alsó szálának megnyúlása, ami kritikus a tönkremenetel szempontjából. Az aszfalt kúszási tulajdonsága [2] miatt a kutatók a valós forgalmi terhelés számításánál különböző szorzótényezőket javasolnak. A burkolat megengedett forgalmi terhelése így az alábbi képlettel számítható:

$$F_{100}^{eng} = v \cdot \left(\frac{K_1}{\varepsilon_t} \right)^{K_2} \quad (3)$$

ahol,

F_{100}^{eng} : A burkolat tönkremenetelig megengedhető forgalom, (100 kN e.t áthaladás [db])

v : eltolási tényező, javasolt értéke 10

ε_t : a számított vízszintes fajlagos megnyúlás [μ strain]

K_1 : anyagállandó, aszfaltnál 1600 értékkel vehető figyelembe (20°C-on)

K_2 : anyagállandó, aszfaltnál 5,62 értékkel vehető figyelembe

Az Európai Unió 2004-ben vizsgálatot végeztetett, „Az útburkolatok teljesítményi mérőszámai” tárgyú COST354-es akciót. A fő cél az egységes európai teljesítményi mérőszámok meghatározása volt, amely az úthasználók és útkezelők igényeit is figyelembe veszi. Eredményként a következő teljesítményi mérőszámok kerültek megfogalmazásra[14]:

- hosszirányú felületi egyenletesség,
- keresztirányú felületi egyenletesség,
- makró érdesség,
- csúszásellenállás,
- gördülőzaj,
- légszennyezés,
- pályaszerkezet-teherbírás.

A COST 354-es akcióban a megfelelő teljesítményi mérőszámokat kiválasztották, kijelölték a célértékeket és határértékeket.

A felsorolt teljesítményi mérőszámok közül a teherbírás teljesítményi mérőszámaként ötféle műszaki paramétert különböztetnek meg:

- pályaszerkezet-behajlás,
- szerkezeti szám,
- hátralévő élettartam,
- E-modulus,
- pályaszerkezet-behajlási sebesség.

A COST 354-ből kiderül, hogy az országok többsége a pályaszerkezet-behajlást választotta műszaki paraméternek [14]. Ugyanakkor a legtöbb teherbírás teljesítmény mérőszámmal foglalkozó tanulmány egyetért abban, hogy az erre a célra legalkalmasabb mérőszám a pályaszerkezet hátralévő élettartama, amelyet a burkolat pillanatnyi állapota és a szakasz jövőben várható forgalomnagysága alapján számítanak.

A pályaszerkezet tervezése során figyelembe kell venni azt a forgalmi terhelést, amelyet a tervezési idő alatt a szerkezetnek el kell viselnie. Tehát már a tervezési fázisban körültekintően meg kell becsülni a várható úgynevezett tervezési forgalmat (TF). Ehhez a művelethez a szakemberek tervezési útmutatót használnak, amelyben a megtervezett pályaszerkezetet forgalmi terhelésre ellenőrizni kell a következő összefüggéssel:

$$N_{eng} = \frac{F}{SF} \cdot \left[\frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot \varepsilon_t} \right]^5 \quad (4)$$

ahol,

- N_{eng} : a megengedett (F100) egység tengely áthaladási szám [db]
 V_b : a bitumen térfogata 11,0 és 12,8 között [%]
 E_a : az aszfaltréteg modulusa, javasolt értéke 4000 és 5800 között [MPa]
 ε_t : a számított vízszintes fajlagos megnyúlás [$\mu strain$]
 F : biztonsági tényező, javasolt értéke 1,0 vagy 1,5
 SF : a shift-faktor, javasolt értéke 2,5 és 5,0 között

A fenti összefüggés figyelembe veszi az anyag tulajdonságait is egyrészt a bitumen térfogatszázalékával, másrészt pedig a shift-faktoral, amely értékét az aszfaltkeverék laboratóriumi körülmények közötti vizsgálatából állapítottak meg [15].

3. HÁTRALÉVÓ ÉLETTARTAM SZÁMÍTÁS A KERÉKTALPERŐBŐL

A szakirodalomban fellelhető modellekhez szükséges a behajlás értékét meghatározni, aminek hátránya, hogy az adatgyűjtés és kiértékelés miatt egy műszerrel csak körülbelül 5000 km út/év mennyiség mérhető. A pályaszerkezet méretezési elve, hogy az alapréteg-fajtánként és forgalmi terhelésosztályonként csoportosított típus-pályaszerkezeteknél a szükséges aszfaltréteg összvastagságokat a többretegű útpályaszerkezet mechanikai modellje, valamint, hajlító és húzó-nyomó igénybevételeket figyelembe vevő fáradási kritériumok alapján határozzák meg. Ez a számítási mód viszont nem veszi figyelembe a burkolaton kialakult deformációkat, úthibákat és az ebből adódó többletterhelést. Emiatt az ŰME (Útügyi Műszaki Előírás) különböző aszfaltkeverékek alkalmazását írja elő. A méretezés megkezdése előtt viszont mindenképp szükséges az útszakasz állapotának ismerete. Az e-ÚT 06.03.13-as ŰME tartalmazza azokat a tevékenységeket, amelyeket az állapotértékeléshez szükséges elvégezni. Az egyik ilyen tevékenység a teherbírás mérés, amely billenőkaros behajlásmérő készülékkel vagy a Lacroix-féle teherbírás mérő berendezéssel készül [6]. Fontos megjegyezni, hogy azonos behajlásértékek különböző pályaszerkezetek mellett is létrejöhetnek, tehát pusztán erre hagyatkozni nem érdemes, erről több szerző is beszámolt már korábban (Boromisza T., Primusz P.). Sokkal pontosabb képet kaphatunk, ha a központi behajláson túl a görbületi sugár értékét is ismerjük.

Amennyiben nem áll rendelkezésre a behajlási teknő, illetve a görbületi sugár vagy figyelembe vesszük az úthibákból adódó többletterhelést is, úgy másik módszerre van szükség. Én három tényező alapján, az útprofil, a kerékterhelés és a forgalomáramlás sebessége ismeretében készíték becslést. Tehát a burkolat állapotára, a hátralévő élettartamára a burkolat felületi egyenetlenségéből, valamint a forgalomáramlás sebességéből következtek. A Tervezési Útmutató a megengedhető forgalom nagyságot egy ötödfokú hatvány-

1. táblázat: A paraméterértékek a kitüntetett a kitüntetett helyeken. Az (a) tényező értéke az egyenértékű rugalmassági modulus és (b) az aszfaltréteg vastagsága függvényében (saját szerkesztés)

	E=4000	E=4500	E=5800		h=120	h=200	h=290
a	0,738	0,731	0,710	b	0	0,033	0,071

függvénnyel írja le. Ebből kiindulva én is egy hatványfüggvényt alkalmazok a becsléshez, amit a következő alakban írtam fel:

$$F_{100}^{eng} = \frac{F}{SF} \left(\frac{A_k}{F_{kmax}^{a+b}} \right)^7 \quad (5)$$

ahol,

- F: biztonsági tényező, javasolt értéke 1,0 vagy 1,5
- SF: a shift-faktor, javasolt értéke 2,5 és 5,0 között
- A_k : A kerék burkolattal érintkező felülete [mm²]
- F_{kmax} : A maximális keréktalperő
- a: A burkolat egyenértékű rugalmassági modulusától függő tényező
- b: Az aszfalt burkolati réteg vastagságától függő tényező

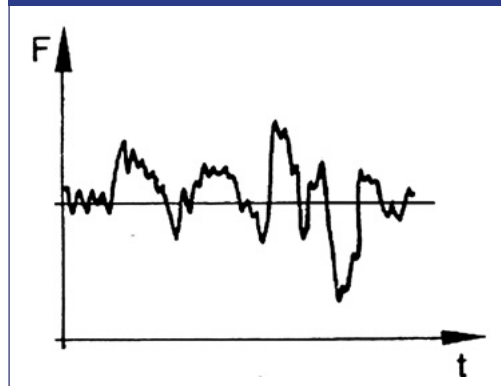
A matematikai modellt úgy alkottam meg, hogy a mért keréktalperőt közvetlenül a képletbe lehessen helyettesíteni, de az egyéb körülményeket is figyelembe vevő shift-faktor és a biztonsági tényező értéke mellett két olyan paramétert is számításba vettem, amelyek nagymértékben befolyásolják a becsült értéket. Az egyik az aszfalt rugalmassági tényezőjét fejezi ki, a másik pedig az aszfaltréteg vastagságától függő paraméter. Az (a) és (b) paraméterek meghatározásához lineáris interpolációt alkalmaztam, a tartományt pedig a 2. táblázatban tüntettem fel. A Tervezési Útmutatóban az egyes aszfaltrétegek rugalmassági modulusa a beépítés helyétől függ. Tehát alap, kötő vagy kopóréteget építenek be, ennek megfelelően az 1. táblázatban szereplő modulusokhoz meghatároztam az (a) paraméter értékeit.

Az (a) paraméter tartomány értékét heurisztikus módon az aszfalt rugalmassági modulusá-

nak változtatása mellett 0,71 és 0,77 értékekben határoztam meg. A (b) paraméter tartomány értékét pedig szintén az előbb említett módszerrel a rétegvastagság változtatása mellett 0 és 0,071 közötti értékben állapítottam meg. A jellemző modulus értékek és rétegvastagságok esetén az 1. táblázat szerint alakulnak a paraméterértékek.

Az (5)-ös összefüggés elméleti magyarázata, hogy az útburkolat fizikai állapotleromlása következtében nem csak anyagfáradás történik, hanem a szerkezetben deformáció is létrejön a forgalom és a környezeti körülmények hatására. A keréktalperő pedig függ a felületi egyenetlenségtől, valamint a jármű sebességétől, vagyis ugyanaz a gépjárműforgalom egy rossz minőségű úton haladva nagyobb terhelést ad át a pályaszerkezetnek, mintha ugyanaz egy síkfelületen haladt volna. A megalkotott matematikai modell alkalmas arra, hogy a forgalomáramlás sebességének és az útfelület deformálódásának figyelembevétele mellett adjon becslést

1. ábra: Rendszertelen terhelés (dr. Zsáry Árpád, Gépelemek)



a hátralévő élettartamra. E két tényező van hatással a menet közben kialakuló keréktalperőre, amely változását kell mérni, az eredményeket pedig rögzíteni. A kiindulási érték az egységtengelyből származó 50 kN statikus terhelés, amelyből a felületi egyenetlenség és a sebesség miatt egy rendszeretlen instacionárius terhelés lesz (**1.ábra**). A számításnál a kerék érintkezési felületét és a többi paramétert állandónak tekintem, csak a terhelés értéke változik.

A terhelés mértékének meghatározását statisztikai számítás útján egy érvényességi szakaszra kell elvégezni.

4. A BEHAJLÁS ÉS A VÍZSZINTES MEGNYÚLÁS KÖZTI ÖSSZEFÜGGÉS

Burmister kétrétegű rendszerében egy h vastagságú, E_1 rugalmassági modulusu és μ_1 Poisson tényezőjű anyagot vizsgál. A feladat a felső és alsó rétegben keletkező feszültségek meghatározása volt. Ezt a mechanikai modellt Burmister 1945-ben alkotta meg, aki 1954 és 1956 között kiterjesztette n réteg esetére is [16]. Burmister eredetileg nem a feszültségekkel, hanem az alakváltozással foglalkozott és a központi lehajlás számítására egyrétegű rendszerrel a következő képletet alkalmazta:

$$D_0 = \frac{2pr}{E_2} (1 - \mu^2) F \quad (6)$$

ahol,

p : a felületi nyomás

r : a gumiabroncs érintkezési felületét leíró kör sugara

E_2 : az alapréteg modulusa

μ : a Poisson tényező

F : E_2/E_e arányszám

E_e : az aszfaltréteg egyenértékű rugalmassági modulusa

A kötött rétegekben keletkező igénybevételt a réteg alján kialakuló megnyúlás jelenti, amely meghatározható, amennyiben ismert az adott pontban a görbületi sugár és a rétegvastagság

[17]. A fajlagos megnyúlás nagysága a (h) vastagságú pályaszerkezeti réteg alján a következő összefüggéssel számítható:

$$\varepsilon(x) = \frac{h}{2R(x)} \quad (7)$$

ahol,

h : a rétegvastagság

$R(x)$: a behajlási teknő görbületi sugara a terhelés tengelyétől x távolságra

Matematikai úton levezethető a függőleges elmozdulásból származó görbületi sugár értéke, amelyre végtelen homogén féltér esetén Müller és Ullidtz (1998-ban) publikált képlete alapján a központi behajlás és a görbületi sugár között a következő kapcsolat írható fel:

$$R_0 = \frac{2r^2}{D_0} \quad (8)$$

5. A HÁTRALÉVÓ ÉLETTARTAM SZÁMÍTÁSÁNÁL HASZNÁLT PARAMÉTEREK VIZSGÁLATA

Az előző fejezetben bemutatott matematikai modellekben alkalmazott paramétereket a **2. táblázatban** foglaltam össze. Az értékeket pedig részben szakirodalomból, részben pedig tapasztalati úton határoztam meg. Ahhoz, hogy összehasonlíthatóvá váljanak az egyes modellek, szükséges a közös változót meghatározni, ami jelen esetben az aszfalt alsó szálának vízszintes fajlagos megnyúlása. A pályaszerkezet fizikai tulajdonságait roncsolásmentes vizsgálattal is meg lehet határozni, ami után a hátralévő élettartam becsülhető.

Ha a pályaszerkezet méretezésből indulok ki, akkor először a forgalmi terhelésből a szerkezetre megengedhető határ-igénybevételt szükséges meghatározni. Ezután a szerkezet geometriai méreteit kell kiszámítani figyelembe véve az e-ÚT 06.03.13 „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” Ütügyi Műszaki Előírást, amely az úttükör szintjén a földmű statikus méretezési teherbírási modulusát $E_{2m}=40 \text{ Mpa}$ értékben rögzíti. Tehát méretezésnél minden egyes réteg vastagságát, teherbí-

2. táblázat: A hátralévő élettartam számítása során használt paraméterek (saját szerkesztés)

Paraméter jele	Paraméter megnevezése	Értéke	Mértékegysége	Hivatkozás
\bar{s}	a vizsgált szakaszon mért behajlások átlaga	0,05-1,85	[mm]	
c	megbízhatósági szorzó	1,6-2,0		AASHO, 1962
σ	a vizsgált szakaszon mért behajlások szórása	0,01	[mm]	
s_m	a vizsgált szakasz mértékadó behajlása	0,07-1,87	[mm]	
ν	eltolási tényező	10		
K_1	anyagállandó	1600		Nemesdy, 1985
K_2	anyagállandó	5,62		Nemesdy, 1985
ε_T	számított vízszintes megnyúlás	18-512	[$\mu strain$]	Tervezési útmutató, 2016
E_a	az aszfaltréteg modulusa	2000-5800	[MPa]	Tervezési útmutató, 2016
V_b	bitumen térfogata	11,0;11,4;12,8		Tervezési útmutató, 2016
F	biztonsági tényező	1,0;1,5		Tervezési útmutató, 2016
SF	shift faktor	2,5;3,0;5,0		Tervezési útmutató, 2016
a	A burkolat egyenértékű rugalmassági modulusától függő tényező	0,71-0,77		saját
b	Az egyenértékű aszfaltréteg vastagságától függő tényező	0-0,071		saját
A_k	A kerék burkolattal érintkező felülete	70 686	[mm ²]	Primusz, 2014
$F_{k,max}$	A maximális kerékfalperő	15 000-150 000	[N]	saját
p	felületi nyomás	0,21-2,12	[MPa]	
h	rétegvastagság	120-290	[mm]	Fi, 2002
μ	Poisson tényező	0,35		Tervezési útmutató, 2016
r	Gumiabroncs érintkezési felületét leíró kör sugara	150	[mm]	Primusz, 2014

rési modulusát és a Poisson-tényezőjét meg kell határozni. A rétegvastagság pedig a teherbírási modulusától függ. Az igénybevétel számításánál a terhelést a 100 kN egység tengely egyik kerekére ható 50 kN erő jelenti egy $r=150$ mm sugarú körtárcsa felületén megoszló $p=0,7$ MPa nyomás formájában. A háromrétegű pályaszerkezet modellben a kritikus terhelést az aszfaltréteg alsó szálában értelmezett ε_t ($\mu strain$) nyúlás, a földmű tetején értelmezett ε_v ($\mu strain$) összenyomódás jelenti. A határ-igénybevétel

meghatározásához pedig szükséges a tervezési forgalom ismerete. A hátralévő élettartamot pedig a pályaszerkezeten megengedhető egység tengely-áthaladás számaként definiálhatjuk.

A forgalom nagyság ismerete lehetővé teszi a megengedhető nyúlások vagy feszültségek meghatározását. A (4)-es összefüggést átalakítva és a $N_{eng}=TF$ jelölést bevezetve kapjuk a tervezési forgalomhoz tartozó megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás értékét.

$$\varepsilon_{eng} = \left[\frac{F}{SF} \right]^{0,2} \cdot \frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot TF^{0,2}} \quad (9)$$

A fenti képletben a változókat a korábbi (4) képletnél megadott módon kell értelmezni.

A földmű összenyomódásra a következő összefüggés alkalmazható:

$$\varepsilon_v = \frac{6000}{TF^{0,23}} \quad (10)$$

A fajlagos megnyúlás képletébe (7-es összefüggés) a 6-os és a 8-as összefüggéseket helyettesítve a következő egyszerűsített képletet kapjuk, ahol (r) a korábbiakban ismertetet sugár érték:

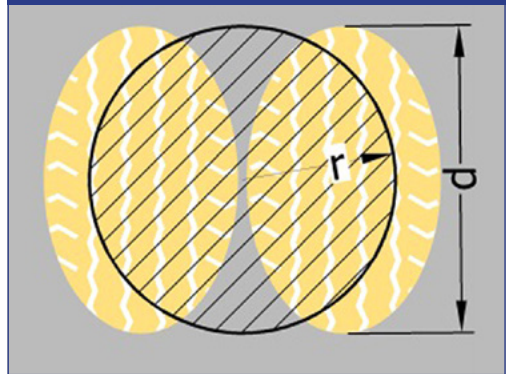
$$\varepsilon_t = \frac{hp}{2E_e r} (1 - \mu^2) \quad (11)$$

Ezzel a (h) rétegvastagság és a felületre jutó terhelés függvényében, a réteg rugalmassági modulusa és Poisson-tényezője ismeretében kiszámolható a fajlagos megnyúlás, amely hajlékony pályaszerkezet esetén érvényes. A rétegvastagság értékének megállapításához, a szabványban szereplő típus-pályaszerkezeteknél alkalmazott vastagságokat vettem figyelembe [18]. Így a négy számítási mód közül háromnál a fajlagos megnyúlást tudom alkalmazni az összehasonlításához, a negyediket pedig külön vizsgálom, amelynek során a képletben szereplő paramétereket középértékkel vettem számításba és egyszerre csak egyet változtattam.

A különböző számítási módszerek összehasonlításához összegyűjtöttem az egyes változókat és a hozzájuk tartozó intervallumot, amelyeket táblázatos formában mutatok be.

A táblázatban szereplő (A_k) paraméter az egy-ségtengely-terhelés számításához használt tehergépjármű gumibroncs érintkezési felülete [17]. Pályaszerkezet-méretezés során az útpályaszerkezetet terhelő erő egy (r) sugarú körtárcsán egyenletesen megoszló (p) terhelést hoz létre. Ez a megoszló terhelés tehergépkocsi esetén $p=0,707$ Mpa. A dupla kerék burkolattal érintkező felületét az aszfaltmagnyúlás számí-

2. ábra: A gumibroncs érintkezési felületét helyettesítő kör területének értelmezése (saját szerkesztés)



tásához, egy kör területével helyettesítik, amely ebben az esetben a 2. ábra szerint értelmezhető. Abban az esetben, ha a két ellipszis alakú felületet egy körrel helyettesítjük és ismerjük a felületi nyomást, akkor ki tudjuk számítani az érintkezési felület nagyságát a következő összefüggéssel.

$$A_k = \frac{F_{kmax}}{p} \quad (12)$$

A járműdinamikában ismeretes, hogy az átadódó nyomóerő eloszlása a gumibroncs fajtájától, a keréknyomástól, sőt még a lengéscsillapító fajtájától is függ. Vagyis a keréktalperő meghatározása nem egyszerű feladat. Mivel a vizsgálat lényege a hátralévő élettartam becslése és az azt befolyásoló tényezők vizsgálata, nem pedig a keréktalperő meghatározása, ezért az egyszerűség kedvéért a (12) összefüggést alkalmazva, $F=50$ kN terhelést és $p=0,707$ Mpa felületi nyomást figyelembe véve az $A_k=70\ 686$ mm²-re adódik. Ezt az értéket konstansnak tekintem a vizsgálat során.

Az egyes modellek paraméter használata közt van átfedés, vagyis létezik olyan paraméter, amely egyszerre kettő modellben is szerepel. A paraméterek modellekben való részvételét, illetve a kiindulásként alkalmazott értékeket a 3. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat: Az egyes számítási módok által használt paraméterek összefoglaló táblázata (saját szerkesztés)

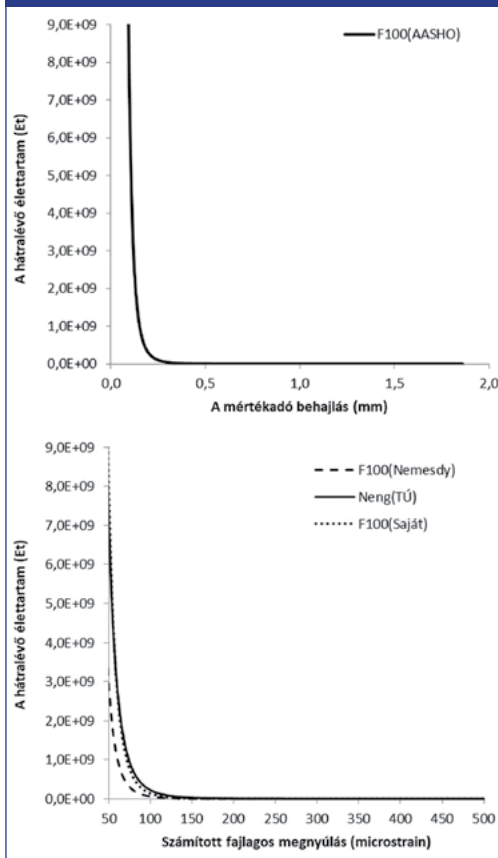
$s_{\text{átl}}$	c	σ	sm	v	K_1	K_2	s_t	E_p	V_b	F	SF	a	b	A_k^2	F_{kmax}	p	h	μ	r
AASHO																			
				Nemesdy															
				Tervezési útmutató															
				Saját modell															
0,05	2	0,01	0,07	10	1600	5,62	30	3 400	11,4	1	3	0,748	0,019	70 686	15000	0,21	165	0,35	150

Első lépésben beállítottam a **3. táblázat**beli kezdeti paraméterértékeket, amelyek közül egyedül az F_{kmax} volt a változó, ez idézte elő a megnyúlást. Az AASHO útkísérletnél alkalmazott modellben pedig a mértékadó behajlás változott. A hátralévő élettartam a **3. ábrán** látható módon változik, ami kis megnyúlás esetén körülbelül 100 $\mu strain$, olyan nagymértékű a becsült élettartambeli

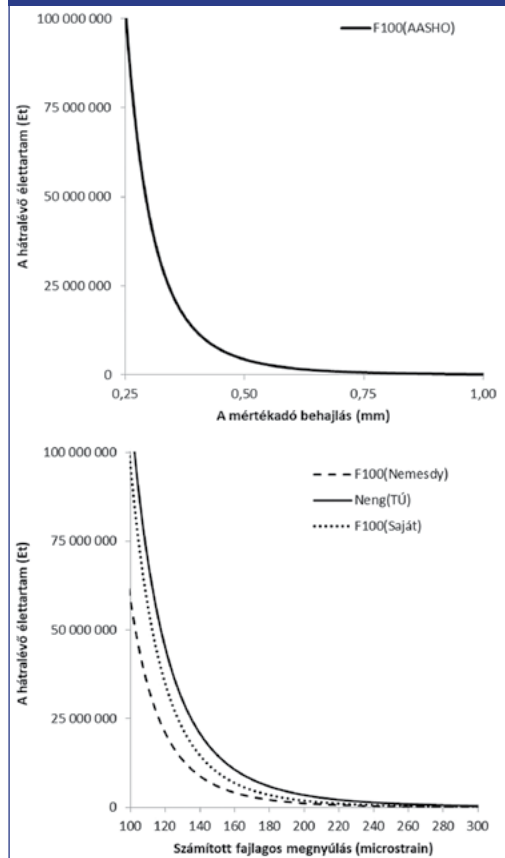
változás, hogy azt átszámítva több évtizednek felelne meg.

Az egyes modellek közti különbség jobb érzékeléséhez a valósághoz közelebb eső értéktartományt állítottam be. A kapott függvénygörbéket a **4. ábra** mutatja. Az ϵ_t megnyúlás tartományát 100 és 300 közöttire állítottam, ez közelebb áll a valósághoz, mivel

3. ábra: A hátralévő élettartam modellek összehasonlítása (saját szerkesztés)



4. ábra: A hátralévő élettartam modellek összehasonlítása a valóságnak megfelelő nyúlás tartományon belül (saját szerkesztés)



4. táblázat: Az elméleti minimum és maximum élettartamok a különböző paraméterek és modellek szerint (saját szerkesztés)

		Minimum élettartam (Et)	Maximum élettartam(Et)
AASHO	átlagos	10 923	43 860 653 009
	c	10 695 388 931	18 278 500 257
Nemesdy	átlagos	119 068	49 635 661 998
	E_a	2 897 960	1 150 188 656
	h	2 403 246	342 354 810
Tervezési útmutató	átlagos	884 288	88 428 801 762
	V_b	183 017 766	363 019 004
	E_a	39 333 579	1 186 962 665
	F	214 881 988	322 322 982
	SF	128 929 193	257 858 386
	h	12 812 378	1 056 120 578
Saját	átlagos	476 180	113 727 925 000
	F	173 554 360	266 539 286
	SF	104 132 616	213 231 429
	a	32 793 981	3 134 249 706
	b	3 380 730	737 667 988

a Tervezési Útmutatóban is $92 \mu\text{strain}$ mellett 102 millió egységtengely áthaladás adódott. Megfigyelhető, hogy mindegyik modell hasonló mértékű élettartamot becsül. A behajlásból származó módszert nem vetem össze a másik hárommal, de a behajlás mértékét itt is a valósághoz közel álló értékekkel vettem figyelembe. A fajlagos megnyúlásból számoló modellek esetén elmondható, hogy a saját modellem a „Tervezési Útmutatóban” szereplő modellhez áll közelebb. A két szélső görbe közt elég nagy különbség adódott, ugyanis a „Tervezési Útmutatóban” szereplő, illetve a saját modell kis megnyúlás esetén kétszer akkora értéket mutat mint a Nemesdy-féle. Nagyobb nyúlás esetén ez az érték lecsökken a másfélszeresére.

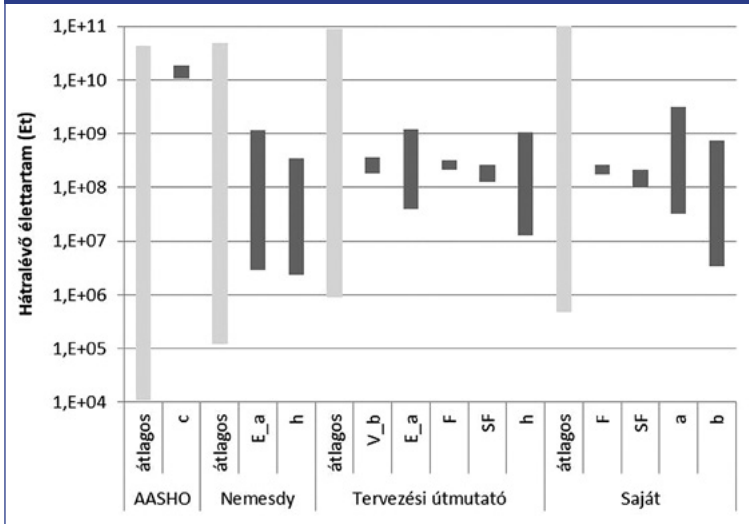
A vizsgálat nem terjed ki minden egyes szituációra, ami alatt az egyes paraméterek összes lehetséges variációját értem, de külön-külön nyolcnál – a szélsőértékre állatva – kiszámoltam a minimális és a maximális élettartamot. Ezt a számítást az 5. ábrán mutatom be, amelyen az átlagos értékekkel kiszámolt élettartamot is feltüntettem. Az átlag számí-

tásnál csak az F terhelő erő változott, míg a többi paraméter esetén az F erő azonosan 50 kN volt. A számított értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

A vízszintes fajlagos megnyúlás közvetlenül befolyásolja a Nemesdy és a „Tervezési útmutató” szerinti számítást, de közvetett módon a saját modellemet is, mivel a megnyúlás képletében szerepel a felületi nyomás, az pedig a változó kerékterheléstől függ. A vizsgálat során nyolc darab paramétert változtattam, a korábban megadott élettartományon belül.

Az összehasonlító diagramon az átlag számítás maximális értéke nagyságrendileg minden modellben ugyanakkora, de a minimális értéket tekintve a „Tervezési Útmutató” egyezik a saját modellem értékével, a Nemesdy-féle egy az AASHO pedig két nagyságrenddel kisebb. Az átlag értéken kívül még a rugalmassági modulus, valamint az aszfaltréteg vastagsága által okozott változás mutat szignifikáns eltérést a minimális és a maximális értékek között. A saját modellemben ezt a változást

5. ábra: Az egyes modellek paraméter érzékenységét összehasonlító diagram (saját szerkesztés)



hajlás mértéke. Ennek mérésére az Útügyi Műszaki Előírás a Benkelman tartót vagy a Lacroix-deflektográfot írja elő. Ettől eltérő mérési módszer esetén átszámítási tényezőt kell meghatározni, hogy a végeredmény ekvivalens legyen. Ezen mérőeszközök mérési sebessége alacsony, nem teszi lehetővé a forgalommal történő együtt haladást, továbbá nagyméretűek. A használatukhoz pedig teherautóra van szükség, amelynek hátsó tengelyére ikerkeréket szereltek.

az (a) valamint a (b) paraméterek fejezik ki. A rugalmassági modulus maximális értéke mindhárom modellnél azonos nagyságrendű, de a minimális érték a Nemesdy-féle modellben egy nagyságrenddel alacsonyabb szinten van. Az aszfaltréteg-vastagság okozta változás a maximális értékek esetében nagyságrendileg azonosnak tekinthető, a minimum érték tekintetében pedig a „Tervezési Útmutatóban” szereplő modell ér el egy nagyságrenddel nagyobb szintet. A többi paraméter változtatása nem eredményezett nagyságrendbeli változást a hátralévő élettartamban.

6. KONKLÚZIÓ

A vizsgálatból kiderült, hogy az általam megalkotott hátralévőélettartam-becslő modell hasonló eredményt produkál, mint a szakirodalomban megtalálható modellek. A bemutatott becslő módszer alkalmas a valós keréktalperőből a várható élettartam meghatározására. A módszer megfelelően érzékeny az (F) keréktalperő változására, ami a valóságban előforduló megnyúlásokat eredményez.

Az eddig alkalmazott módszerek alapja a kerékterhelés hatására létrejövő központi be-

Kisebb települések közútjain nem terjedt el az ilyen fajta mérés és hátralévőélettartam-becslés, ennek ellenére hasznos lehet. A nagyobb városokhoz viszonyítva ritkább és kisebb volumenű építési beavatkozások történnek, amelyek egy része még csak nem is engedélyköteles tevékenység, és tervdokumentáció sem készül róla. A beavatkozás mértékének, illetve a rangsorolás megállapításához viszont eszközként szolgál a teherbíró képesség és hátralévő élettartam ismerete. Egy kis település önkormányzata a lakóövezeti utak felújításához nem készít stratégiai tervet. Ha éppen van kiírva pályázat felújításra, akkor rövid idő alatt kell döntést hoznia. Ez egy gyors, olcsó és objektív állapotértékelő módszer kidolgozását követeli meg. Ehhez olyan mérési módszer szükséges, amely a forgalomban haladva a pálya deformációját figyelembe véve képes adatot gyűjteni, majd ezen adatokat felhasználva, képes a hátralévő élettartam becslésére.

Jelen cikkben kidolgozott hátralévőélettartam-becslő módszer felhasználható egy úállapot-értékelő rendszer számára. A modell használhatósága azon múlik, hogy mennyire pontos a számítás alapját képező terhelőerő értéke. Ennek meghatározásához külön mérési módszer kidolgozására van szükség.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] R.R.Bartelsmeyer, C.D. Curtiss, és Wilbur S. Smith, „The AASHO Road Test”, Highw. Res. Board, sz. Report 6, 1962.
- [2] Nemesdy Ervin, Ambrus Kálmán, Pallós Imre, és Török Kálmán, „Az aszfaltkeverékek mechanikai, és fizikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatai”, 2000.
- [3] Gáspár László, Horváth Ferenc, és Lublly László, Közlekedési létesítmények élettartama. Győr: Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2011.
- [4] Bajza József, Szemrevételezéses épületdiagnosztika. TERC KFT., 2003.
- [5] Markó Gergely, Primusz Péter, és Péterfalvi József, „A Benkelman-tartó továbbfejlesztése a behajlási teknő automatizált rögzítéséhez”, 2012.
- [6] Boromisza Tibor és Gáspár László, „Billenőkaros mérőeszköz az útburkolatok teher-bíróképességének meghatározására”, Közlekedéstudományi szemle, köt. 6, sz. 6, 1956.
- [7] Boromisza Tibor, „Útburkolatok behajlása”, Mélyépítéstudományi Szemle, o. 564–571, 1959.
- [8] Gáspár László, „Útburkolat-állapotfelmérési és-értékelési rendszerek”, 7 Sz, o. 205, 1983.
- [9] Vásárhelyi Boldizsár, Útépítéstan. Budapest: Tankönyvkiadó, 1951.
- [10] József T. és Gábor M., „Az útburkolatok állapotának felmérése új vizsgálati módszerek segítségével”, o. 23, 2017.
- [11] Vásárhelyi Boldizsár, Közúti közlekedésünk és útjaink helyzete, In:Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények, köt. 1. Budapest: Akadémiai kiadó, 1958.
- [12] Markó Gergely, Primusz Péter, és Péterfalvi József, Hajlékony útburkolatok élettartamának meghatározása a továbbfejlesztett kézi behajlásmérés alkalmazásával, köt. Kari Tudományos Konferencia Kiadvány. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2011.
- [13] Zoltán S., Zsuzsanna I., és Ferenc S., „Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének diagnosztikai kérdései”, Útügyi Lapok, köt. 5, sz. 1, o. 11, 2017.
- [14] Boromisza Tibor, Gáspár László, és Károly Róbert, „Útpályaszerkezetek teherbírása Hazai és külföldi eredmények és problémák”, Közúti és mélyépítési szemle, köt. 58, sz. 5–6, o. 1–9, 2008.
- [15] Rowe, G. M. és Sharrock, M. J., „Alternate Shift Factor Relationship for Describing Temperature Dependency of Viscoelastic Behavior of Asphalt Materials”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, köt. 2207, sz. 1, o. 125–135, 2011. DOI: <https://doi.org/b7wq7q>
- [16] Burmister D. M., „The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems”, Journal of Applied Physics, köt. 16, sz. 2, o. 89–94, 1945.
- [17] Primusz Péter és Szentpéteri Ibolya, „Útpályaszerkezetek modellezése 3.rész”, Útügyi lapok, 2014.
- [18] Fi István, Utak és környezetük tervezése, 2000. kiad. Műegyetemi Kiadó.

E számunk lektorai

Dr. habil Gáspár László ■ Dr. Katona András

Dr. Tóth János ■ Dr. Török Ádám



Remaining pavement structure life estimate based on wheel loading force

There are several mathematical calculations to determine the life expectancy of asphalt pavement structures. These calculations are based on the specific elongation caused by the deflection of the pavement in the lower fiber of the asphalt layer. As this is one of the critical aspects of asphalt pavement failure, it is important to define it as accurately as possible. The article compares several mathematical models for predicting remaining life, and the author presents his own model based on road profile and traffic flow rate.



Schätzung der verbleibenden Lebensdauer der Fahrbahnstruktur auf Grund der Radlastkraft

Es gibt verschiedene mathematische Berechnungen, um die Lebenserwartung von Fahrbahnstrukturen mit Asphaltdecke zu bestimmen. Diese Berechnungen basieren auf der spezifischen Dehnung, die durch die Biegung des Belags in der unteren Faser der Asphaltschicht verursacht wird. Da dies einer der kritischen Aspekte der Beschädigung von Asphaltbelägen ist, ist es wichtig, diese so genau wie möglich zu definieren. Der Artikel vergleicht einige mathematische Modelle zur Schätzung der verbleibenden Lebensdauer, und der Autor präsentiert sein eigenes Modell, das auf dem Straßenprofil und auf der Geschwindigkeit des Verkehrsflusses basiert.

