



A teljesítménykövetelmények figyelembevétele aszfaltburkolatú utak számításán alapuló méretezésénél

Ronald Blab, Lukas Eberhardsteiner

Kivonat: Ausztriában az útpályaszerkezetek méretezéséhez jelenleg olyan méretezési katalógust használnak, amely 10 forgalmi terhelési osztályt és aszfaltburkolatú típus-pályaszerkezet vonatkozásában 5 variációt különböztet meg. Ezeket a terhelési osztályokat olyan forgalomspecifikus paraméterek alapján határozzák meg, mint az „i” járműkategória napi forgalmának éves átlaga vagy a napi teherforgalom éves átlaga. Ennél a módszernél azonban sem a nagy jelentőséggel bíró – funkcionális – teljesítménytulajdonságokat, sem a forgalom által okozott terhelés részletes adatait (pl. tengelyterhelés vagy összsúly) nem lehet figyelembe venni. Az osztrák útpályaszerkezetek méretezése során ezen korlátok feloldásához egy számításos eljárás került kidolgozásra. Az eljárásban egyes fontos bemeneti paraméterekre, mint például a forgalmi terhelés, valamint a felhasznált aszfaltok merevsége, illetve fáradással szembeni ellenállása, olyan méretezési szinteket vezettek be a teljesítménykövetelményekre alapozva, amelyek figyelembe veszik ezen adatok részletességét. Ez a megközelítés biztosítja, hogy az egyes input adatok meghatározásánál alkalmazott vizsgálatok elterjedésének növekedésével a szükséges méretezési tartalékok csökkenjenek. Ennek köszönhetően az aszfaltburkolatú utak modern, használati szokásokat figyelembe vevő és ezáltal gazdaságos méretezése válik lehetővé.

Kulcsszavak: mechanikai pályaszerkezet méretezés, meleg aszfaltkeverék, teljesítményalapú jellemzők

1. Bevezetés

Az útpályaszerkezet méretezésének célja a szerkezet oly módon történő méretezése, hogy az a teljes tervezési élettartam alatt megfeleljen a forgalomból származó terhelésnek. Ez azt jelenti, hogy a pályaszerkezetben az összes igénybevétel, illetve alakváltozás, amelyet a forgalom – a klimatikus hatások és a földmű vagy altalaj adottságainak következményeivel együttesen figyelembe véve – okoz, nem lép túl bizonyos határértékeket. A vastagsági méretezés esetében a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a pályaszerkezetben és a földmű egyes rétegeinek a jellemző forgalmi és időjárási igénybevételre (feszültségek és megnyúlások) jellemző anyagfáradása szolgál.

Az aszfaltburkolatú utaknál általában az aszfaltrétegek alján fellépő, változó húzó igénybevételt és a földmű tetjén kialakuló függőleges nyomó igénybevételt tekintik mértékadónak. A forgalomból származó ciklikus húzó

igénybevételek az anyag fáradásához vezetnek, és az aszfaltszerkezet alján repedések alakulnak ki, amelyek felfelé terjednek („bottom-up cracking”). Ennek következtében a különálló repedések összeérnek, és hálós repedések alakulnak ki, ami a teljes szerkezet teherbírásának gyors és egyre nagyobb mértékű csökkenését okozza.

Az utak méretezését Ausztriában jelenleg az RVS 03.08.62 (FSV 2016a) nemzeti irányelv szabályozza, amely 10 forgalmi terhelési osztályra és aszfaltburkolatú pályaszerkezetek esetén 5-féle típus-pályaszerkezetre kidolgozott méretezési katalógust tartalmaz. Ezeket a típus-pályaszerkezeteket olyan forgalomspecifikus adatok alapján lehet kiválasztani, mint az „i” járműkategória napi forgalmának éves átlaga (JD_{TV,i}, jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke) vagy a napi teherforgalom éves átlaga (JD_{TLV}, jährlich durchschnittlichen täglichen Lastverkehrsstärke). Ezek a típus-pályaszerkezetek olyan általános érvényű fizikai és

mechanikai törvényszerűségekre épülnek, amelyek szempiempirikus modellek (Litzka et al., 1996; Molzer et al., 1996; Blab et al., 1998) segítségével írják le az útpályaszerkezet egyes külső terhelésekre (mint pl. forgalom, időjárási viszonyok stb.) adott reakcióját.

Az RVS 03.08.63 (FSV 2016a) irányelvben található méretezési módszertan segítségével igen gyorsan és egyszerűen választható ki a kivitelezendő pályaszerkezet. A méretezési katalógus előírásával azonban jelentős korlátozásokkal kell élni a felhasznált építőanyagok anyagparamétereinek figyelembevételénél, így nagy biztonsági tartalékok szükségesek.

2. Aszfaltburkolatú utak számításos méretezése Ausztriában

Ahhoz, hogy a felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságait jobban figyelembe tudjuk venni a méretezés során, s ezáltal jobban kihasználhassuk a méretezési tartalékokat, az osztrák aszfaltburkolatú utakhoz egy új számításos méretezési eljárást fejlesztettünk (Blab et al., 2014). Ez nem csupán gazdaságosabb építési módokat tesz lehetővé, hanem azt a célt is szolgálja, hogy az aszfaltkeverékek és pályaszerkezeti rétegek teljesítményi tulajdonságainak a méretezési eljárásban történő figyelembevételével támogassa az innovációt az új kötőanyagok és az aszfaltkeverékek fejlesztése terén. Ez a módszertan az új RVS 03.08.68 (FSV 2016b) osztrák irányelv formájában fog megjelenni.

2.1 Méretezési eljárás

A méretezés a teherforgalom-kategóriához tartozó megengedett terhelési ciklusok számának (N_{zul}), azaz a meghatározott tervezési élettartam alatt várható átgördülések számának (N_{erw}), azaz a terhelésnek az összehasonlításával történik, így az

$$N_{zul} \geq N_{erw} \quad (1)$$

elvet követi. A terhelési ciklusok N_{erw} várható száma pedig az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$N_{erw} = JDTLV \cdot V \cdot S \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (2)$$

ahol

$JDTLV$: a napi teherforgalom éves átlaga (nehéz tehergépjárművek száma),

V : a sávszorító, amely a teherforgalom több forgalmi sávra történő elosztását írja le,

S : sávon belüli kerékvándorlást figyelembe vevő szorzó,

n : tervezési élettartam (év),

z : pedig a forgalomfejlődési szorzó, amely a következő formában adható meg:

$$z = \frac{q^n - 1}{n(q - 1)} \quad (3)$$

ahol $q = 1 + p/100$ és p pedig az éves forgalomnövekedés %-ban.

Az útpályaszerkezet külső terhelésekre adott reakcióját, és ezzel a terhelési ciklusok N_{zul} megengedett számát általános érvényű fizikai és mechanikai törvények írják le. A forgalomterhelés mint (mértékadó teherforgalom-kategória) bemeneti paraméter, valamint a merevség és fáradási ellenállás, mint aszfaltmechanikai jellemzők számára az eljárás különböző méretezési szinteket vezet be, amelyek a rendelkezésre álló adatok részletezettségétől függően (forgalomszámlálás vagy anyagvizsgálatok eredményei stb.) választhatók ki a méretezendő szakaszhoz. Ezzel biztosítható, hogy a bemeneti paraméterek növekvő pontosságával – ami egyúttal a szükséges biztonsági tartalékok csökkenését is jelenti – a méretezés gazdaságosabbá váljon. Ezen határfeltételek figyelembevételével Burmister (1945) többrétegű rugalmas lemezelmélete segítségével meghatározhatók a mértékadó elsődleges igénybevételek (feszültségek és megnyúlások) a pályaszerkezetben. A szerkezetet egy többrétegű rugalmas féltér írja le, ahol a féltér minden pontjára ki lehet számítani az adott pontban ható elsődleges igénybevételeket (feszültségek: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ és megnyúlások: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$). A számított háromdimenziós feszültségállapot a módosított nyírófeszültség-hipotézis (Leon, 1934; Hagemann, 1980; Altenbach, 1993) alkalmazásával áttranszformálható egy σ_V ekvivalens egytengelyes összehasonlítási feszültségállapotra. Ezen összehasonlítási feszültség figyelembevételével egy, a fáradási függvényre (2.4.4 fejezet) épülő károsodási modell adja meg az útpályaszerkezetnek a terhelő járműkategória által

1. Táblázat. Háromszintű méretezési eljárás a tervezési forgalom meghatározásához

Méretezési szint	Rendelkezésre álló adatok		
	Járműcsoportok aránya	Járműosztályok aránya	Összsúly- és tengelyterhelés-eloszlás
1	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Nem áll rendelkezésre
2	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre
3	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll

okozott károsodását. Eközben a járműkategória (2.2 fejezet) minden j járművének minden i tengelyéhez tartozó C_{ijk} részkárosodást meghatározzuk minden statisztikailag előforduló össztömeghez, valamint az év 12 darab (az aszfaltrétegek hőmérséklet-eloszlásától függő) k részperiódusára. Az egyes járművek a teljes forgalomhoz viszonyított p_j arányának, illetve az egyes hőmérsékleti periódusok egy teljes évhez viszonyított p_k arányának figyelembevételével súlyozhatjuk, és a szuperpozíció elve alapján összesíthetjük ezeket részkárosodásokat a méretezési időtartamra (lásd [4]-es képlet). Ezzel meghatározható a méretezési időtartam.

$$\frac{1}{N_{zul}} = C_{zul} = \sum_i \sum_j \sum_k p_j \cdot p_k \cdot C_{ijk} \quad (4)$$

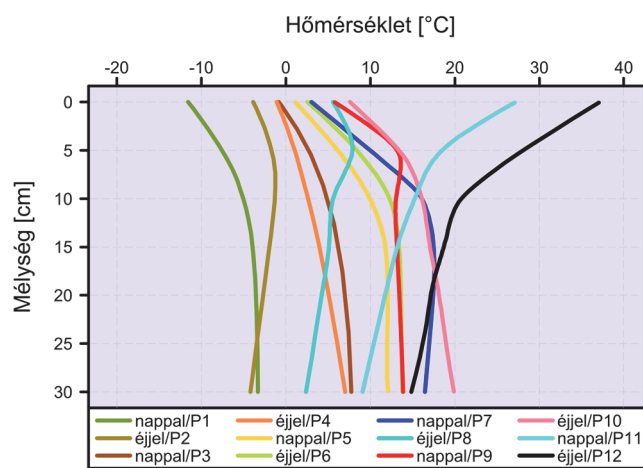
A méretezési eredmények minősége és megbízhatósága jelentősen függ a bemeneti paraméterek meghatározásának pontosságától és azok méretezési eljárásban történő figyelembevételétől. Általánosságban 4 kategóriára oszthatók ezek a bemeneti paraméterek:

- forgalom;
- altalaj/földmű teherbírása;
- klimatikus hatások;
- aszfaltmechanikai tulajdonságok (aszfaltmerevség, fáradási viselkedés).

2.2 Mértékadó forgalom

Az út mértékadó forgalmának ismerete a pályaszerkezet méretezésének egyik központi kérdése. Ha nem állnak rendelkezésre forgalommal kapcsolatos adatok, akkor pontosan ezen okból döntő az úttervezők számára, hogy egy olyan méretezési kategóriára hagyatkozhat, amely

Reprezentatív hőmérséklet-eloszlások a bitumenes burkolatok 12 hőmérsékletperiódusára (I. klímazóna, alpesi területek)


**1. Ábra.** Reprezentatív hőmérséklet-eloszlások az aszfaltrétegek 12 hőmérsékletperiódusára (I. klímazóna, alpesi területek)

a lehető legpontosabban képezi le az aktuális forgalmat. A származtatott reprezentatív teherforgalmi csoportot mindig olyan aktuális forgalomszámlálási adatokkal (pl. az útdíjellenőrző rendszer automata számlálóállomásai) kombinálva kell alkalmazni, amelyek a teherforgalmat 3 járműcsoportra osztják (2, 3 és 4 vagy többtengelyes járművek). Az osztrák gyorsforgalmi úthálózaton az útdíj-ellenőrzés adatai általában kiváló minőségben és az egész országot lefedően állnak rendelkezésre. A járműosztályok (járműtípusok) hozzárendelése és az összsúly eloszlása, valamint a tengelyterhelés-eloszlás csak helyenként áll rendelkezésre. Ezt a körülményt számításba véve – a rendelkezésre álló adatoktól függően – három, az 1. táblázatban található méretezési szintet határoztunk meg.

A háromszintű méretezési eljárás lehetővé teszi, hogy szükség szerint és a kívánt mértékben lehessen egy reprezentatív teherforgalom-csoportra, illetve saját gyűjtésű forgalmi adatokra hagyatkozni. Ez az eljárás így biztosítja, hogy a mértékadó forgalom meghatározásának részletezettségét a rendelkezésre álló adatok alapján egyedileg lehessen maximalizálni.

Az 1. méretezési szint az általános alkalmazási eset. Ebben az esetben sem a járműosztályok gyakorisági eloszlásáról, sem az egyes járműosztályok összsúlyeloszlásáról nem állnak rendelkezésre adatok. Ezért a statisztiki-

2. Táblázat. Az összsúly- és a tengelyterhelés-eloszlás származtatására szolgáló paraméterek (nyergesvontató esetére, VC = Vehicle Class)

Teherjárműosztály	Összsúlyeloszlás meghatározásához szolgáló paraméterek					
	g_1	μ_1	σ_1	g_2	μ_2	σ_2
 VC 113	0,62	407,10	34,94	0,62	305,70	88,79
	Tengelyterhelés-eloszlás meghatározásához szolgáló paraméterek					
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	
	0,0716	0,2457	0,2293	0,2260	0,2277	
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
	46,4333	1,3700	-16,7000	-15,5667	-15,4667	

kialakított és központilag biztosított teherforgalmi csoportot és a hozzá tartozó összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásokat kell használni. A reprezentatív teherforgalmi csoport járműosztályainak (GW, Gesamtgewicht) összsúlyai a következő összefüggéssel adhatók meg:

$$GW = g_1 \cdot N_1(\mu_1, \sigma_1) + g_2 \cdot N_2(\mu_2, \sigma_2) \quad (5)$$

ahol

- GW : az összsúly [kN],
- g_1, g_2 : súlyozó tényezők [-],
- N_1, N_2 : normál eloszlás [-],
- μ_1, μ_2 : N_1 és N_2 normál eloszlások középértékei [kN],
- σ_1, σ_2 : N_1 és N_2 normál eloszlások szórásai [kN].

A reprezentatív teherforgalmi csoport egyes járműkategóriáinak L_i tengelyterheléseire a következő összefüggés vonatkozik:

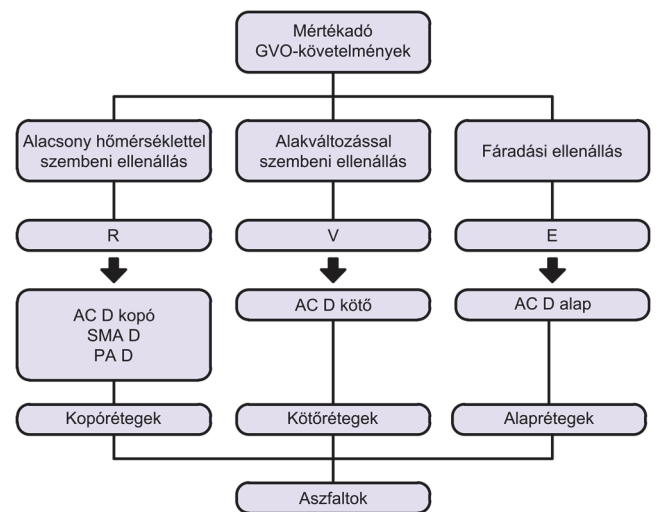
$$L_i = \beta_i + \alpha_i \cdot GW \quad (6)$$

ahol

- L_i : az i -edik tengely tengelyterhelése [kN],
- GW : (5)-ös egyenlet szerinti összsúly [kN],
- α_i, β_i : a vizsgált járműosztály i -edik tengelyének tengelyterhelési együtthatói [-].

A 2. táblázat példaként mutatja a statisztikailag meghatározott, a tengelymérés adatok kiértékeléséből származó paramétereket, amelyből egy nyerges vontató mértékadó összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásai származtathatók.

A 2. méretezési szint abban különbözik az 1. méretezési szinttől, hogy kézi vagy automata, a járműtípusokat



2. Ábra. Keveréktípusok és azok lényeges használati tulajdonságai (FSV 2013b)

megkülönböztető forgalomszámlálásokból ismert a járműosztályok gyakorisági eloszlása. Ezzel növekszik a részletezettség mértéke a méretezéskor. A reprezentatív teherforgalmi csoport összsúly- és tengelyterhelés-eloszlását hozzávéve ki lehet számítani az adott esetben jellemző forgalmi csoport által okozott átlagos károsodásokat.

A 3. méretezési szint nyújtja a legpontosabb igénybevétele előrejelzést. A járműcsoportok eloszlásának és a járműosztályok előfordulási gyakoriságának ismerete mellett tengelyterhelés-mérésekből a járműosztályok összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásai is ismertek. Ebben az esetben a lehető legnagyobb mértékű részletezettséggel lehet számolni a méretezés során.

2.3 A földmű teherbírása és a hőmérséklet-eloszlás

3. Táblázat. Háromszintű méretezési eljárás a tervezési forgalom meghatározásához

Évszak	12.16. – 03.15.	3.16. – 5.15.	5.16. – 6.15.	6.16.– 9.15.	09.16.– 10.15.	10.16.– 12.15.	12.16. – 03.15.	3.16. – 5.15.	5.16. – 6.15.	6.16.– 9.15.	09.16.– 10.15.	10.16.– 12.15.
A teljes év- hez viszonyí- tott hányad	0,24	0,17	0,09	0,25	0,08	0,17	0,24	0,17	0,09	0,25	0,08	0,17
Hőmérsék- let-periódus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p _k	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka
	0,16	0,08	0,11	0,06	0,06	0,03	0,17	0,08	0,05	0,03	0,11	0,06

A földmű teherbírása erősen függ a helyi időjárási és hidrológiai viszonyoktól. Ezért az évet 4 különböző merevségi tényezővel jellemezhető periódusra osztjuk. Míg a földmű és az altalaj teherbírása télen, fagyott talajnál éri el maximumát, addig a merevség a tavaszi olvadási időszakban minimálisra csökken. A pályaszerkezet nem kötött alsó és felső rétegeinél a réteg vastagságától és a felhasznált anyagtól függően változó rugalmassági modulusokat alkalmazunk a földmű, illetve az alatta levő rétegek jellemzéséhez.

Az Ausztriában uralkodó időjárási viszonyokból adódóan az aszfaltrétegekben hőmérséklet-ingadozások jelentkeznek, amelyek módosítják a merevségi tulajdonságokat. A bemutatott méretezési eljárásnál (Wistuba, 2003) hőmérsékleti modelljét vesszük figyelembe, amely hosszú távú, ausztriai meteorológiai vizsgálatokon alapszik. Ennek segítségével meghatározhatók az útburkolatok valóságos hőmérséklet-eloszlásai Ausztria különböző klímájú térségeihez. Ennek során 6 időjárási periódusra osztjuk az évet, ahol megkülönböztetjük a nappalt és az éjszakát (Mais, 1973). Így egy évre 12 hőmérsékleti periódus adódik, amelyekhez az aszfaltrétegekben kialakuló jellemző hőmérséklet-eloszlások tartoznak (3. táblázat). Egy ilyen hőmérsékleti eloszlást mutat be az 1. ábra az ausztriai alpesi területeinek példájával (I-es hőmérsékleti zóna).

2.4 Aszfaltmechanikai tulajdonságok

2.4.1 Aszfaltkeverékekkel és -rétegekkel szemben támasztott teljesítménykövetelmények

Az RVS 08.16.06 (FSV 2013a) és RVS 08.97.06 (FSV 2013b) irányelvek bevezetése óta Ausztriában lehetőség

van az aszfaltkeverék funkcionális tulajdonságait figyelembe vevő megközelítés (GVO, gebrauchsvorhalten-orientiert) alapján történő pályázati kiírásokra. Ez – ellentétben az empirikus megközelítéssel – lehetővé teszi, hogy funkcionális követelményeket állítsunk fel a keverékekkel szemben. A használati tulajdonságok közé tartozik a plasztikus deformációval szembeni ellenállás magas hőmérsékleteken (nyomvályúsodással szembeni ellenállóság), a fáradással szembeni ellenállóság ciklikus (forgalmi) terhelés esetén, valamint a hőmérséklet- és terhelésfüggő anyagmerevség illetve a termikus repedések képződésével szembeni ellenállás alacsony hőmérsékleteken. A kopó (alacsony hőmérséklettel szembeni ellenállás követelményei, R: Rissbeständigkeit), kötő (alakváltozással szembeni ellenállás követelményei, V: Verformungsbeständigkeit) és alap (fáradással szembeni ellenállás követelményei, E: Ermüdungsbeständigkeit) aszfaltrétegekkel szemben támasztott GVO-követelményeket osztályokba soroljuk, amelyek határértékeket tartalmaznak az egyes rétegek speciális követelményeihez. A 2. ábra áttekintést nyújt a GVO megközelítés alapján tervezhető keveréktípusokról, és azok lényeges használati tulajdonságairól.

- R (repedésekkel szembeni ellenállás alacsony hőmérsékleteknél): Ez a megnevezés arra utal, hogy olyan kopó rétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet első sorban alacsony hőmérsékletek melletti repedésekkel szembeni ellenállásra terveztek, és öt típusra osztanak (R1, R2, R3, R4 és R5).
- V (alakváltozással szembeni ellenállás magas hőmérsékleteken): Ez a megnevezés arra utal,

4. Táblázat. Javasolt minimális követelmények kopó rétegek esetén [R-osztály az alacsony hőmérsékletek melletti viselkedéshez]

T_{max} 95%	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$
T_{min} 95%	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$
JDTLV > 1300	R2	R1	R2	R1
JDTLV ≤ 1300	R4	R3	R4	R3

hogy olyan kötőrétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet elsősorban magas hőmérsékletek melletti maradandó alakváltozásokkal szembeni ellenállásra terveztek, és négy típusra osztanak (V1, V2, V3 és V4).

- E (fáradással szembeni ellenállás): Ez a megnevezés arra utal, hogy olyan alaprétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet első sorban fáradási repedésekkel szembeni ellenállásra terveztek, és négy típusra osztanak (E1, E2, E3 és E4).

A fáradási ellenállással szemben az alaprétegek aszfaltjainál (E1–E4 típusok), és a kötőrétegekbe szánt aszfaltoknál (V1 és V2) is támasztunk minimális követelményeket, ÖNORM EN 12697-24 (ONI 2012) szerinti, 4 pontos hajlított gerendán végzett fáradási vizsgálatokból 10^6 terhelési ciklus után meghatározott megnyúlás (ε_6) formájában. A gyártónak továbbá minden kopó, kötő- és alaprétegbe szánt aszfaltkeveréknél meg kell adnia az ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) szerinti, 4 pontos hajlított gerendán meghatározott S_{min} minimális merevséget. A gyártó által garantált fáradással szembeni ellenállás és minimális merevség ezt követően megadott teljesítményjellemzőként beépülnek a számításos méretezésbe.

2.4.2 Minimumkövetelmények a méretezéshez

A mértékadó használati időszak koncepciója alapján kidolgoztunk egy összefüggést az időjárási peremfeltételek (az uralkodó levegőhőmérséklet-maximumok, illetve -minimumok 95%-os kvantilise), továbbá a forgalomfüggő mechanogén igénybevétel és a keverékkel szemben támasztott RVS 08.97.06 szerinti GVO-követelmények (R-, V-, E-osztályok) között, amely (minimál-) követelménymátrix formájában adható meg (4–6. táblá-

5. Táblázat. Javasolt minimumkövetelmények kötőrétegek esetén [V-osztály az alakváltozáshoz]

T_{max} 95%	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$
T_{min} 95%	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$
JDTLV > 1300	V2	V1	V2	V1
JDTLV ≤ 1300	V4	V3	V4	V3

zat). Klímaterképek (lásd pl. Wistuba et al., 2001) felhasználásával egyes útszakaszokhoz az aktuális, illetve becsült forgalom figyelembevételével hozzárendelhető a tervezett aszfaltrétegek keverékeivel szemben támasztott összes GVO-követelmény.

2.4.3 Aszfaltmerevség valóságghű leképezése

Az aszfalt hőmérséklet- és frekvenciafüggő merevségi viselkedése anyagmodellt alkalmazva becsülhető a felhasznált bitumen tulajdonságaiból és a keverék térfogati jellemzőiből. A bemutatott eljárásban a bécsi modell (Blab et al., 2014), (lásd [7]-es és [8]-as egyenlet) került alkalmazásra, amely a Hirsch-féle megközelítésére (Anderson–Christensen, 1991) épül. A modell segítségével az aszfalt merevsége $|E^*|(T, f)$ (N/mm²-ben) az ásványi anyag VMA szabadhézag aránnyal (%-ban), a VFB kötőanyag kitöltöttségi aránnyal (%-ban) és a kötőanyag nyírási modulusával $|G_{bit}^*|(T, f)$ (N/mm²-ben) meghatározható T hőmérsékletre és f frekvenciára.

$$|E^*|(T, f) = \frac{p_c}{145,0377} \left[a \left(1 - \frac{VMA}{100} \right) + 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f) \left(\frac{VFB \cdot VMA}{10,000} \right) \right] + \frac{(1-p_c)}{145,0377} \left[\frac{1 - \frac{VMA}{100}}{a} + \frac{VMA}{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)} \right] \quad (7)$$

ahol

$$p_c = \frac{\left(b + \frac{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)}{VMA} \right)^c}{d + \left(\frac{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)}{VMA} \right)^c} \quad (8)$$

Az a , b , c és d paraméterek meghatározására elkészült egy ezen paramétereket tartalmazó adatbázis, amely

3. Ábra. Háromszintű méretezési eljárás az aszfaltmerevség bemeneti paraméterhez

Méretezési szint	Rendelkezésre álló adatok		
	Térfogatösszetétel	$ G_{bit}^* $ DSR-vizsgálatokból (EN 14770)	Aszfaltmerevség S_{min} @ 20°C (EN13108)
1	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Nem áll rendelkezésre
2	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre
3	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Rendelkezésre áll

kb. 1500, az általában használt anyagokon végzett merevségi mérések eredményén alapul. A paramétereket a kiválasztott bitumenfajta (hagyományos útépitési vagy polimerrel modifikált bitumen) és a biztonsági szint függvényében lehet megválasztani.

A tervezési forgalom 2.2 fejezetben leírt meghatározása mellett az aszfaltmerevség figyelembevételénél is egy többszintű rendszert alkalmazunk. Az elvégzett vizsgálatok terjedelmének függvényében különböző pontossággal lehet figyelembe venni a felhasznált keverék tényleges tulajdonságait. Ennek során – ahogyan azt a 3. ábra mutatja – 3 méretezési szintet különböztetünk meg, ahol mind a részletezettség, mind a vizsgálat igény minden szinttel növekszik. Az 1-es méretezési szintben a felhasznált keveréknek (hézag- és kötőanyag-tartalom, illetve a köváz és a keverék sűrűsége) csak az összetétel adatai állnak rendelkezésre. Ebben az esetben egy modellbitumen ($|G_{bit}^*|$) anyagtulajdonságaira kell hagyatkozni. A térfogati adatokból származtathatók a bécsi modell VMA és VFB paraméterei, és a megfelelő a , b , c és d paraméterek megválasztása után megbecsülhető az aszfalt merevsége. Annak ellenére, hogy megkülönböztetjük az útépitési és polimerrel modifikált bitumenes keverékeket, ezen a szinten csak a tényleges térfogati jellemzőkre hagyatkozunk. Ezért viszonylag nagy méretezési tartalékokat kell hagyni.

A bécsi modell a , b , c és d paramétereit a kiválasztott bitumentípus és a megkövetelt megbízhatósági szint függvényében a 7. táblázat tartalmazza. A modellbitumen T hőmérséklettől ($^{\circ}\text{C}$) függő $|G_{bit}^*|(T, f)$ merevsége a következő alakú függvénnyel írható le (9):

6. Táblázat. Javasolt minimumkövetelmények alaprétegek esetén (E-osztály fáradási viselkedéshez)

T_{max} 95%	$> 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$
JDTLV > 1800	E1	E3
JDTLV ≤ 1800	E2	E4

$$|G_{bit}^*|(T, f) = \frac{1}{1\,000\,000} \cdot \exp\left(y_0 + \frac{m}{1 + \left(\frac{T+273,15}{x_0}\right)^n}\right)$$

Az m , n , x_0 és y_0 paramétereket 8 Hz-es frekvenciához (80 és 100 km/h közötti haladási sebességnek felel meg) a 8. táblázat adja meg.

Amennyiben a térfogati adatok mellé ÖNORM EN 14770 (CEN, 2012) szerint végzett DSR-vizsgálatokból a bitumen $|G_{bit}^*|$ merevsége is ismert, a 2-es méretezési szint alkalmazható. Ez esetben a bécsi modell segítségével, de modellbitumen alkalmazása nélkül határozható meg a keverék merevsége.

A 3-as méretezési szintet akkor alkalmazzuk, ha a merevség leírására szolgáló S_{min} (N/mm²) GVO-paraméter ismert az ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) szerinti, négy pontos hajlított gerendán végzett merevségi vizsgálatokból 20°C-os hőmérsékleten és 8 Hz-es frekvencián. Ezt az értéket a keverék gyártójának kell meghatározni és megadni. Az 1. szinten leírt módszertannal meghatározható az aszfalt merevsége, amelyet egy KFS korrekciós tényezővel (lásd [10]-es egyenlet) igazítunk hozzá az alkalmazott keverék tényleges, mért merevségéhez. Az E_p értéket a kiválasztott bitumentípus (hagyományos útépitési bitumen, polimerrel modifikált bitumen) és a p biztonsági szint függvényében lehet megválasztani.

$$KF_s = \frac{S_{min}}{E_p} \quad (10)$$

A p megbízhatósági szinttel statisztikailag meghatározott E_p érték megfelel a tényleges térfogati jellemzők, a modellbitumen (útépitési bitumen vagy polimerrel modifikált bitumen) 20 °C-on vett nyírási modulusának és a kiválasztott p megbízhatósági szint figyelembevételével a bécsi modell alapján becsült merevségének. Magasabb rendű úthálózatok (autópálya, gyorsforgalmi utak) útjainál mindenképpen 95%-os megbízhatósági

7. Táblázat. Bécsi modell a, b, c és d paraméterei az útéptési és polimerrel modifikált bitumen megbízhatósági szintjei függvényében

Modellparaméter	a	b	c	d
Megbízhatósági szint	EN 12591 szerinti útéptési bitumen			
85%	5 041 315,00	310,19	0,92	41 376,03
90%	4 025 792,00	747,43	1,07	151 858,30
95%	3 918 366,00	687,25	1,05	135 252,80
Megbízhatósági szint	EN 14023 szerinti polimerrel modifikált bitumen			
85%	7 079 529,00	12 131,20	1,12	838 934,40
90%	7 194 946,00	12 207,70	1,12	852 557,90
95%	8 289 791,00	9 997,08	1,01	309 265,80

szintet kell választani. A kötőanyag és hőmérsékletfüggő rétegmerevségeket, illetve a megbízhatósági szintet a 8. táblázat tartalmazza. Az S_{min} hőmérsékletfüggő rétegmerevséget ezután a bécsi modell alapján, az a , b , c és d paraméterek alkalmazásával és a KFS korrekciós tényezővel történő szorzással határozhatjuk meg.

2.4.4 Az aszfalt fáradásának figyelembevétele

A fáradás leírására egy

$$N = \frac{k_1(T)}{F(\varepsilon_6)} \cdot \left(\frac{|E^*(T, f)|}{\sigma_v} \right)^{k_2(T)} \quad (11)$$

formájú, átdolgozott fáradási kritériumot alkalmaz a méretezési eljárás (Blab et al., 2014). Ezen összefüggés segítségével meghatározható a szerkezet fáradásáig elviselhető terhelési ciklusok száma, amely a σ_v összehasonlítási feszültségből, az $|E^*|$ merevségből (2.4.3 fejezet), valamint a

$$k_1(T) = 10^{-(0,0077 \cdot T^2 - 0,4859 \cdot T + 17,602)} \quad (12)$$

és

$$k_2(T) = 0,0015 \cdot T^2 - 0,0875 \cdot T + 6,1803 \quad (13)$$

fáradási paraméterekből adódik. A (11)-es egyenletben szereplő $F(\varepsilon_6)$ tényező függ a fáradást leíró ε_6 ($\mu\text{m}/\text{m}$) GVO-paramétertől, amelyet az ÖNORM EN 12679-24 (ONI 2012) szerinti, négyponos hajlított gerendán vég-

8. Táblázat. A merevséget a megbízhatósági szint függvényében leíró m , n , x_0 és y_0 paraméterek útéptési és polimerrel modifikált módosított (modell-) bitumenhez ($f = 8 \text{ Hz}$)

Modellparaméter	m	n	x_0	y_0
Megbízhatósági szint	EN 12591 szerinti útéptési bitumen			
85%	21,42	11,00	320,91	0,00
90%	20,42	14,00	314,86	0,51
95%	19,80	14,00	313,37	1,14
Megbízhatósági szint	EN 14023 szerinti polimerrel modifikált bitumen			
85%	17,86	9,00	324,04	2,81
90%	16,02	10,00	321,09	4,11
95%	15,64	10,00	322,12	4,31

zett fáradási vizsgálatokkal lehet 20°C -os hőmérsékleten és 30 Hz-es frekvencián meghatározni. Az F tényező az

$$F(\varepsilon_6) = 1,6833 - 0,5256 \cdot \left(\frac{\varepsilon_6}{100} \right) \quad (14)$$

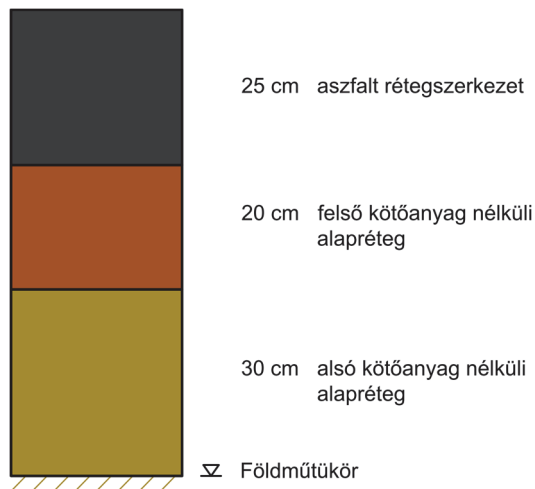
összefüggésből számítható.

3. Méretezési példa

Ennek a módszernek az előnye abban rejlik, hogy segítségével a túlméretezés jelentősen csökkenthető, amennyiben a bemeneti paraméterekről részletesebb leírás áll rendelkezésre, és ezáltal növelhető a számított élettartam, amelyet a gazdaságossági értékelés keretében lehet figyelembe venni. Ezt a következő példák hivatottak bemutatni. Egy, a salzburgi repülőtér közelében elhelyezkedő ($T_{max,95\%} = 32,3^\circ\text{C}$, $T_{min,95\%} = -9,8^\circ\text{C}$) útszakaszt vizsgálunk, amelynek forgalma $2200 \text{ tkg}/24 \text{ h}$. Az aszfalt alapréteget AC22 típusú aszfaltból (VMA = 20,9%, VFB = 83,7%) kívánjuk készíteni PmB45/80-65 polimerrel modifikált kötőanyaggal. A merevség és a fáradás leírására szolgáló, ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) és ÖNORM EN 12697-24 (ONI 2012) szerinti négyponos hajlítás vizsgálatokból az $S_{min} = 4500 \text{ N}/\text{mm}^2$ és $\varepsilon_6 = 260 \mu\text{m}/\text{m}$ GVO-paraméterek adódtak. 20 éves tervezési élettartamot és évenkénti 3%-os forgalomnövekedést figyelembe véve az osztrák RVS

9. Táblázat. Vizsgált méretezési változatok

Változat	Méretezési eljárás	Forgalom	Anyag merevsége	Anyag fáradása
1	RVS 03.08.63 méretezési katalógus	JDTLV=2200 tkg/24 h	-	-
2	RVS 03.08.68 számításos méretezés	1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	1. Méretezési szint (PmB, VMA, VFB)	$\varepsilon_6 \geq 190$ $\mu\text{m/m}$
3		1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	3. Méretezési szint ($S_{\min}=4500 \text{ N/mm}^2$)	$\varepsilon_6 \geq 190$ $\mu\text{m/m}$
4		1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	1. Méretezési szint (PmB, VMA, VFB)	$\varepsilon_6 \geq 260$ $\mu\text{m/m}$



4. Ábra. Vizsgált pályaszerkezet

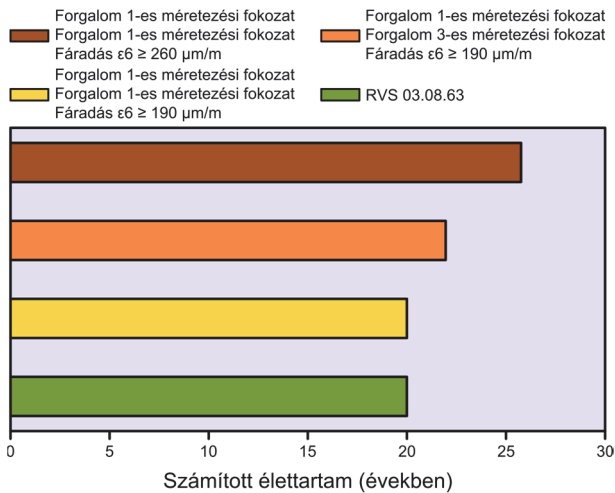
03.08.63 (FSV 2016a) méretezési katalógus szerinti méretezés LK25-ös terhelési osztály szerinti szerkezetet eredményez.

Az AS1 típus-pályaszerkezet esetén például 30 cm vastag kötőanyag nélküli alsó alaprétegből, 20 cm vastag kötőanyag nélküli felső alaprétegből és 25 cm vastag aszfaltréteg-szerkezetből felépülő burkolat adódik. Ez az eredmény nem függ a kiválasztott aszfaltkeverék keverék tulajdonságaitól (4. ábra). Ezt a kialakítást megvizsgáltuk a bemutatott számításos méretezési eljárással, és meghatároztuk a számított élettartamot. A forgalomhoz használhatjuk az 1. méretezési szintet, ahol az egyes járműtípusok, illetve azok összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásának előfordulási valószínűségére statisztikailag biztosított, reprezentatív eloszlásokat alkalmazunk. Mivel a keverék térfogati összetétele ismert, és polimerrel modifikált kötőanyagot használunk, alkalmazhatjuk az 1-es méretezési szintet a merevségre is. A

modellbitumen mechanikai viselkedését figyelembe véve a (7)-es egyenlet alkalmazásával megbecsülhető a merevség hőmérsékletfüggése. A 4. és 6. táblázatból olvashatók az RVS 08.97.06 (FSV 2013b) szerinti R2, V2, és E1 GVO-követelmények. A fáradás tekintetében ez azt jelenti, hogy teljesülnie kell az $\varepsilon_6 \geq 190 \mu\text{m/m}$ feltételnek. Ezekből a feltételezésekből 20 éves számított élettartam adódik a 4. ábrán látható felépítésre.

Mivel az S_{\min} GVO-paramétert négyponos hajlítási vizsgálatból határozták meg 20°C-on, a felhasznált keverék merevségére alkalmazható a 3. méretezési szint, a merevség hőmérsékletfüggése pedig a KFS segítségével a (10)-es egyenlettel illeszthető. A forgalomhoz az 1. méretezési szintet és az $\varepsilon_6 \geq 190 \mu\text{m/m}$ feltételt figyelembe véve 22 éves számított élettartam adódik.

A fáradással szembeni ellenállást leíró ε_6 GVO-paraméternek a négyponos hajlítási vizsgálatból történő meghatározása lehetővé teszi az alkalmazott keverék fáradási viselkedésének figyelembe vételét. Amennyiben a gyártó az AC-alap aszfalt alaprétegre $\varepsilon_6 \geq 260 \mu\text{m/m}$ fáradással szembeni ellenállást ad meg és garantál, az $F(\varepsilon_6)$ meghatározható a (14)-es egyenletből. Mind a forgalomra, mind a merevségre az 1. méretezési szintet alkalmazva már 27 éves számított élettartam adódik a vizsgált burkolatra. Az előre jelzett műszaki élettartamot az 4. ábra hasonlítja össze. A számításos méretezési módszer alkalmazásával a hagyományos méretezési megközelítéshez képest akár 30%-kal is nőhet a becsült használati időtartam. Az anyagtulajdonságok részletesebb leírása tehát hatékonyabb méretezést és gazdaságosabb építési típusokat tesz lehetővé.



4. Ábra. Vizsgált élettartamok összehasonlítása

4. Összefoglalás

Az aszfaltburkolatú utak Ausztriában jelenleg alkalmazott méretezésénél szemiempirikus méretezési modelleket használnak, amelyek ugyan könnyen alkalmazhatók, azonban nem biztosítanak elegendő mozgásteret ahhoz, hogy a tényleges jellemzőket (forgalom, a használt aszfalt anyagtulajdonságai stb.) lehessen figyelembe venni az egyes méretezendő útszakaszokhoz. Különösen kritikusnak tekintendő azon lehetőség hiánya, hogy a nagyobb teljesítményű aszfaltok használata kihatással legyen a méretezés eredményére, ami visszafogja az anyagok fejlesztését célzó innovációt. Ezért az osztrák aszfaltburkolatú utak számára számításos méretezési eljárást dolgoztunk ki, amely a meglévő eljárás továbbfejlesztésének és optimalizálásának tekinthető. Az eljárásban többszintű méretezési felépítést alkalmaztunk, amelyek lehetővé teszik a méretezendő szakasz aktuálisan rendelkezésre álló adatainak (forgalmi adatok, anyagvizsgálatok eredményei stb.) figyelembevételét. A bemeneti paraméterek nagyobb pontossága ugyan átfogóbb vizsgálatokat igényel, azonban ezzel minimalizálhatók a méretezési tartalékok, és gazdaságosabb burkolatok készíthetők. A bemutatott eljárás tehát modern, figyelembe veszi a használati szokásokat, továbbá gazdaságos méretezést tesz lehetővé az aszfaltburkolatú utaknál. Előreláthatólag az új RVS 03.08.68 (FSV 2016b) osztrák irányelvként fog megjelenni.

5. Irodalmi hivatkozások

Altenbach, H. (1993): Einführung in die Werkstoffmechanik, Leipzig–Stuttgart, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

Anderson, D. A.; Christensen, D.W. (1991): Rheological evidence concerning the molecular architecture of asphalt cements. Proceedings of Chemistry of Bitumen 2, 1991 Rome.

Blab, R.; Eberhardsteiner, L.; Haselbauer, K.; Marchart, B.; Hessmann, T. (2014): OBESTO – Implementierung des GVO- und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenbauten. Wien.

Blab R., Litzka, J.; Molzer, C. (1998): The new Austrian standard for pavement design. Proceedings of the Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields. Trondheim, 6–8 Juli 1998, 1, 619–628.

Burmister, D. M. (1945): The general theory of stresses and displacements in layered systems. Journal of Applied Physics, 16.

CEN 2012. EN 14770: Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A komplex nyírási modulus és a fázisszög meghatározása. Dinamikus nyíróreométer (DSR) Brüsszel.

FSV 2013a. RVS 08.16.06 – Anforderungen an Asphaltmischgut – Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien.

FSV 2013b. RVS 08.97.06 – Anforderungen an Asphaltmischgut – Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

FSV 2016a. RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

FSV 2016b. RVS 03.08.68 – Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

Hagemann, R. (1980): Ein Verfahren zur Beurteilung flexibler Fahrbahnbefestigungen unter Berücksichtigung von Festigkeitshypothesen für Asphalte.

Leon, A. (1934): Über die Rolle des Trennbruchs im Rahmen der Mohrschen Anstrengungshypothese. Der Bauingenieur, 15.

Litzka, J.; Molzer, C.; Blab, R. (1996): Modifikation der Österreichischen Bemessungsmethode zur Dimensionierung des Straßenoberbaus, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

Mais, R. (1973): Zur Beanspruchung von bituminösen Fahrbahnbefestigungen. Ein Beitrag zur Ermittlung standardisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie, Bonn.

Molzer, C.; Fußeis, W., Litzka, J.; Steierwald, G. (1996): Auswirkungen von Achslastenerhöhung auf

das Bundesstraßennetz, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

ONI 2004. ÖNORM EN 12697-26: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 26. rész: Merevség.

ONI 2012. ÖNORM EN 12697-24: Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 24. rész: Fáradási ellenállás.

Wistuba, M. (2003): Klimaeinflüsse aus Asphaltstraßen – Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich, Wien, Technische Universität Wien.

Wistuba, M.; Litzka, J.; Blab, R. (2001): Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

Berücksichtigung von Performance-Anforderungen bei der Rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen

Abstract: Pavement design in Austria is currently based on a design catalogue consisting of standard constructions distinguishing ten load classes and five asphalt pavement types. Thereby, traffic-related parameters like the average annual truck traffic (AATT) determine the load class. However, this approach neither allows the consideration of essential performance-based material properties, nor detailed information regarding the traffic load (e. g. axle load or vehicle gross weight). To eliminate these limitations, a mechanistic design method for bituminous pavements was developed, which introduces design levels for the important input parameters traffic load as well as the stiffness and fatigue behavior of the applied asphalt type taking the level of detail of these variables into account. This approach ensures that necessary design reserves decrease with increasing experimental effort for parameter identification. Thus, this method allows for a modern, performance-related and, hence, economic design of bituminous pavements.

Keywords: Mechanistic pavement design, Hot mix asphalt, Performance-based characteristics

Prof. dr. R. Blab, egyetemi tanár

e-mail: ronald.blab@tuwien.ac.at

Dr. L. Eberhardsteiner

e-mail: lukas.eberhardsteiner@tuwien.ac.at

Közlekedéstudományi Intézet – Útügyi Kutatási Részleg
Bécsi Műszaki Egyetem, Gußhausstraße 28/230/3, A-1040 Wien