



Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése hőmérséklet profil alapján

**Seoyoung Cho¹, Pethő László², Tóth Csaba¹,
Lakatos Éva³**

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Út és Vasútépítési Tanszék

² Fulton Hogan Infrastructure Services

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: hotaru128@hanmail.net, laszlo.petho@fultonhogan.com.au,
toth.csaba@epito.bme.hu, lakatoseva@mail.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2020.2.07](https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.07)

KIVONAT

A hajlékony útpályaszerkezetek viselkedésének tanulmányozásában, az aszfaltréteg kötőanyagtartalmának köszönhetően a hőmérséklet hatása nagy jelentőséggel bír. A jelenlegi szakmai gyakorlat ezt a problémát az ún. ekvivalens hőmérséklet segítségével igyekszik kiküszöbölni, azaz rétegenként, olyan egyenértékű hőmérséklet és ennek eredményeként olyan aszfaltmodulus értékeket használ, amelyek, ha a teljes év alatt változatlanok lennének, akkor ugyanakkora fáradási kár keletkezne a pályaszerkezetben, mint a különböző hőmérsékletek eltérő aszfaltmodulusaival számolt igénybevételek összegzett hatása. Cikkünkben azt vizsgáljuk, ha egy ún. meteorológiai évet veszünk valós hőmérsékleti adatokkal, akkor a modellezett pályaszerkezet elméleti viselkedése hogyan alakul a hagyományos méretezési elvekkel számított eredményekhez képest.

Kulcsszavak: hőmérsékleti profil, hajlékony pályaszerkezet modellezés, végelelem módszer

ABSTRACT

In the study of the behavior of flexible pavements, the effect of temperature is of great importance due to the binder content of the asphalt layers. The current professional practice tries to eliminate this problem with the help of the equivalent temperature. Therefore, such an equivalent temperature and as a result of it such an asphalt modulus values have been applied layer by layer and, which, if left unchanged throughout the year, would cause the same fatigue damage in the pavement as the sum of the loads calculated for different asphalt modulus at different temperatures. In our article, we examine if we take a meteorological year with real temperature data, then how the theoretical behavior of the modeled pavement changes compared to the results, which calculated with traditional pavement design method.

Keywords: temperature profile, flexible pavement design, finite element method

Seoyoung Cho

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék PhD hallgatója.

Dr. Pethő László

Pethő László regisztrált szakmérnök több mint 19 év nemzetközi tapasztalattal az aszfaltkeverék tervezés, minőségvizsgálat és pályaszerkezet méretezés területén. Jenleg a Fulton Hogan Infrastructure Services-

nél pályaszerkezet szakértőként dolgozik, ahol többek között pályaszerkezetek teljesítményével és innovatív technológiák alkalmazásával foglalkozik.

Dr. Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság Útpályaszerkezetek Szakbizottság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében, valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 50.

Dr. Lakatos Éva

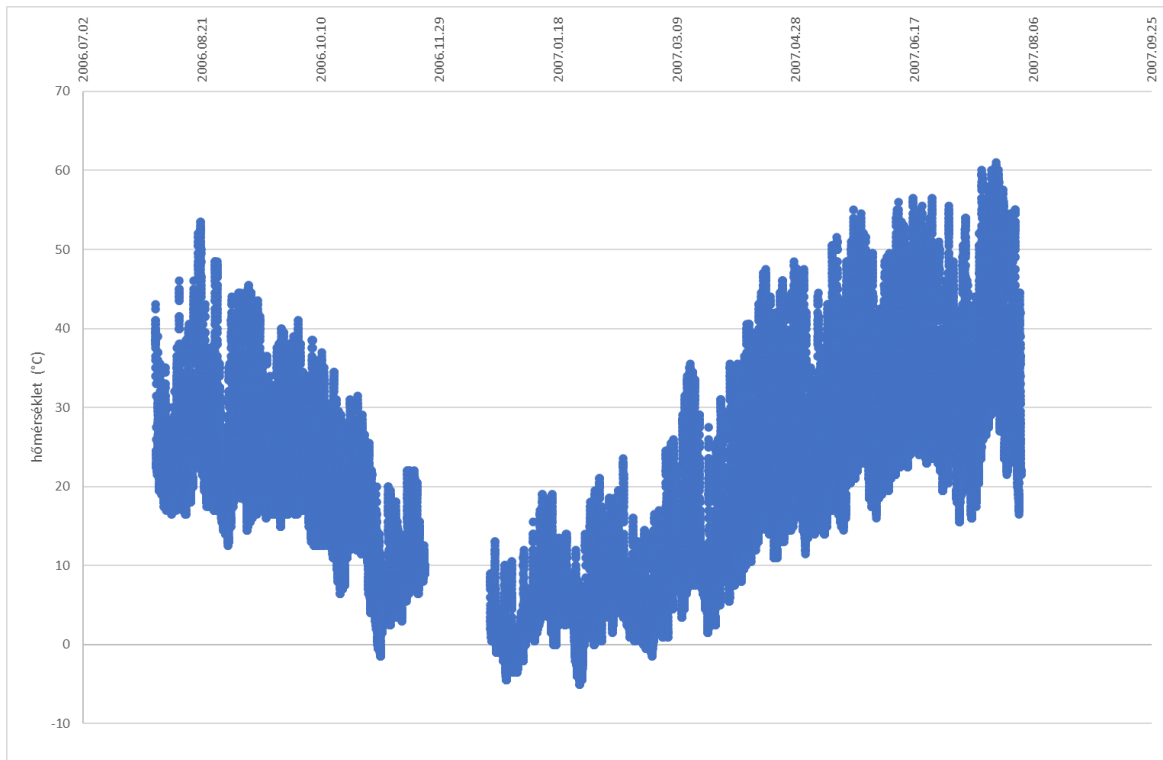
A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Tartószerkezetek Mechanikája Tanszékének munkatársa. Fő kutatási területe a biomechanika – biológiai anyagok és implantátumok vége-selemes vizsgálata, porózus szilárd anyagok szerkezeti és anizotrop tulajdonságai.

1. AZ ASZFALTBURKOLAT FELÜLETI HŐMÉRSÉKLETÉNEK ÉVES ELOSZLÁSA

Ha egy aszfaltburkolatú útpályaszerkezet különböző mélységeiben kialakuló hőmérsékletet szeretnénk megbecsülni, első lépésként célszerű a felületi hőmérsékletéből kiindulni, hiszen az közvetlenül is mérhető.

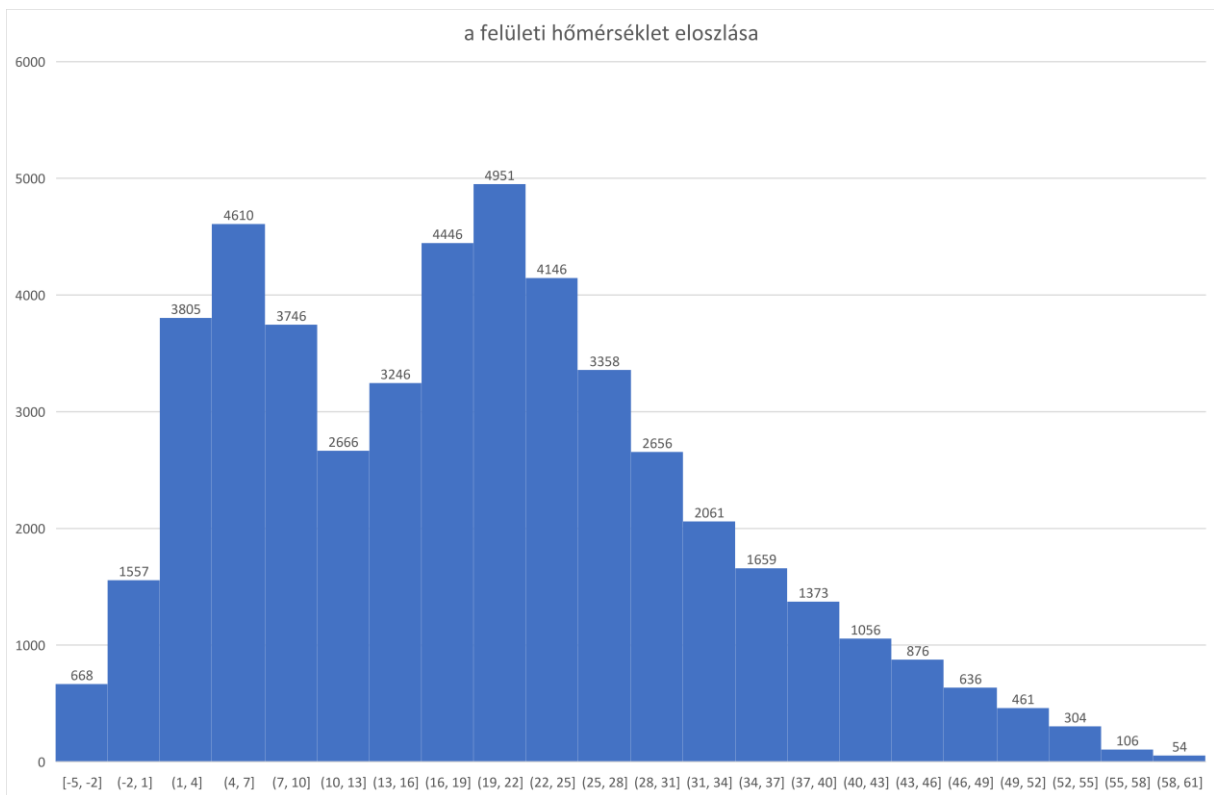
Aszfaltburkolaton mért hőmérsékleti eloszlás relatív gyakoriságát egy korábban létrehozott (Pethő, 2008) – több publikációban is szereplő – meteorológiai állomástól kapott hőmérsékleti adatgyűjtésből számítottuk. A meteorológiai állomást 2006-ban szerelték fel, mi a 2006.01.01-jétől 2007.7.31-ig tartó intervallum adatait kaptuk meg és használtuk fel. A meteorológiai állomás 10 percenként mérte és naplózta az adatokat, ami a kiválasztott egy év esetén mintegy 48 441 darab mérési adatnak felelt meg. A mérési adatok a felületi hőmérséklet mellett a környezeti hőmérsékletet, illetve adott mélységben – jellemzően az egyes pályaszerkezeti rétegek középvonalában – 2, 7, 14, 29 és 49 cm-en – mért hőmérsékleti adatokat tartalmazta.

Az 1. ábra a felületi hőmérséklet változását mutatja ezen egy év alatt. A magyar éghajlati viszonyok vonatkozásában az adatok viszonylag magas felületi-hőmérsékleteket mutatnak, ezt magyarázhatja az időjárás állomás körüli lokális éghajlati viszonyok, mivel az állomás egy aszfaltkeverőtelep sűrűn beépített, magas épületekkel leárnyékolt udvarán található. Az adatsor megszakadása a meteorológiai állomás két hétig tartó leállításának következménye, ezen időszakban az adatok gyűjtése elmaradt, ez azonban megítélésünk szerint elhanyagolható hatással van az éves hőmérsékleti eloszlásra.



1. ábra: A felületi hőmérséklet változása egy év alatt.

A 2. ábrán látható hisztogram a 3 °C osztályközzel képzett, 22 darab hőmérsékleti osztály megoszlását mutatja.



2. ábra: Hőmérsékleti eloszlás hisztogramja.

Az ábrából megállapítható például, hogy a leggyakrabban előforduló hőmérsékleti tartomány a 19-22 °C közötti tartományba esett. Elosztva ezen hőmérsékleti intervallumba eső értékek előfordulást az összes mért darabszámmal az alábbiak szerint:

$$\frac{4951}{48441} = 0,1022$$

kapjuk, hogy a 19 és 22°C közötti hőmérsékleti tartományban az év 10,22 %-ában fordult elő.

2. AZ ASZFALTBURKOLATI RÉTEGEK HŐMÉRSÉKLETÉNEK BECSLÉSE

Annak érdekében, hogy modellezni tudjuk a hőmérséklet lefutását a mélység függvényében a pályaszerkezetben, az elemzéshez egy 19 cm össz-aszfaltvastagságú, három aszfaltrétegből álló szerkezetet modelleztünk az alábbiak szerint:

- 4 cm kopóréteg
- 6 cm-es kötőréteg
- 9 cm-es aszfalt felső alapréteg.

Az egyes aszfaltrétegekben kialakuló hőmérsékletek becslésére az alábbi német módszert alkalmaztuk (Kayser, 2007; RDO, 2009). A módszer az 1. egyenlet szerint a felületi hőmérséklet ismeretében ad becslést az aszfaltrétegek tetszőleges mélységében ébredő hőmérsékleti viszonyokra.

$$y = a \cdot \ln(0,01 \cdot x + 1) + T \tag{1}$$

ahol: „y” aszfalt becsült hőmérséklete [°C] „x” mélységben, „x” a burkolat felszíne alatti mélység [mm], „T” a felület hőmérséklete [°C], „a” paraméter a „T” függvényében (1. táblázat).

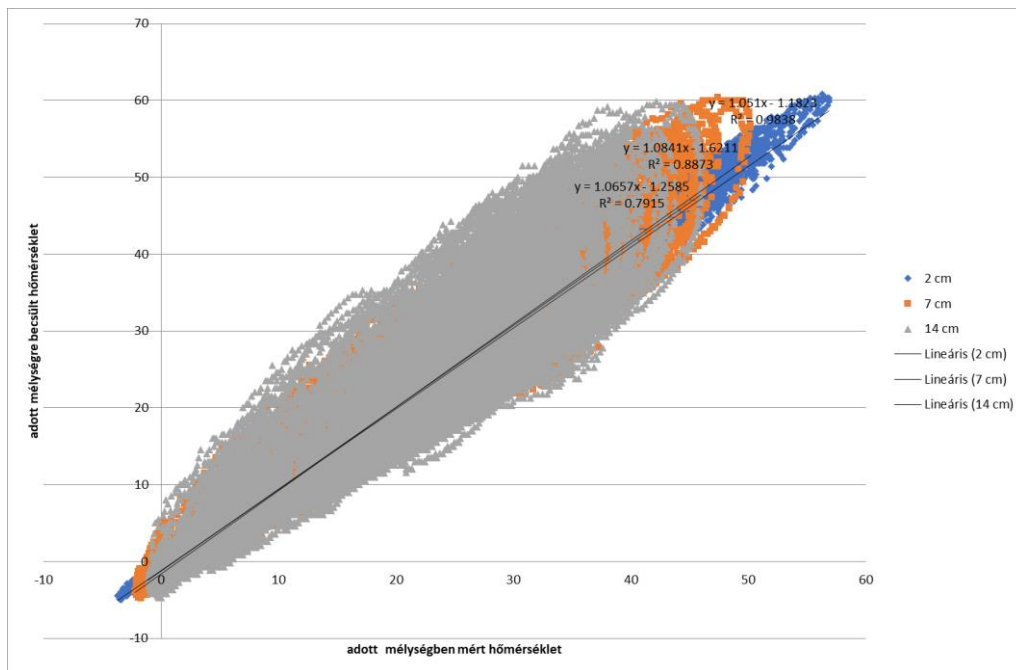
Hőmérséklet	a
<-10	6.5
<-5	4.5
< 0	2.5
< 5	0.7
< 10	0.1
< 15	0.3
< 20	0.4
< 25	-1.6
< 30	-4.0
< 35	-6.2
< 40	-8.5
< 45	-10.5
> 45	-12.0

1. táblázat: „a” paraméterek a felületi hőmérséklet függvényében.

A pályaszerkezeti rétegek hőmérsékletét elsőként a 2, 7 és 14 cm mélységben a fentiekben ismertetett német módszerrel becsültük és összevetettük a meteorológiai mérőállomástól kapott, az azonos mélységben mért adatokkal. A becsült és a meteorológiai állomásról gyűjtött adatokat összevetve, megállapítottuk, hogy erős kapcsolat igazolható, mivel a korreláció szorosságát kifejező R² értékek a következőképpen alakultak:

- 2 cm mélység: 0,98
- 7 cm mélység: 0,89
- 14 cm mélység: 0,79

A 3. ábra a becült hőmérsékletet mutatja a különféle mélységeken mért hőmérséklet függvényében.



3. ábra: Becült hőmérséklet a mért hőmérséklet függvényében.

A modellt tovább finomítva a teljes aszfaltvastagság 19 centiméterét 1 centiméteres, 19 különálló alrétegre bontottuk. Figyelembe véve továbbá, a felszíni hőmérséklet eloszlást 22 hőmérsékleti tartományra osztottuk, amint azt a fentiekben kifejtettük, a pályaszerkezet éves hőmérsékleti viszonyait megfelelő részletességgel a 2. táblázatban megadott 19x22-es mátrix írja le.

A pályaszerkezeti modell sorszama	1	2	3	...	20	21	22
a hőmérsékleti tartomány alsó határa (°C)	-5	-2	1	...	52	55	58
a hőmérsékleti tartomány felső határa (°C)	-2	1	4	...	55	58	61
a hőmérsékleti tartomány átlagértéke (°C)	-3.5	-0.5	2, 5	...	53, 5	56, 5	59, 5
10 mm	-3.3	-0.3	2, 6	...	52, 4	55, 4	58, 4
20 mm	-3.0	0.0	2, 6	...	51, 3	54, 3	57, 3
30 mm	-2.8	0.2	2, 7	...	50, 4	53, 4	56, 4
40 mm	-2.7	0.3	2, 7	...	49, 5	52, 5	55, 5
50 mm	-2.5	0.5	2, 8	...	48, 6	51, 6	54, 6
60 mm	-2.3	0.7	2, 8	...	47, 9	50, 9	53, 9
70 mm	-2.2	0.8	2, 9	...	47, 1	50, 1	53, 1
80 mm	-2.0	1.0	2, 9	...	46, 4	49, 4	52, 4
90 mm	-1.9	1.1	2, 9	...	45, 8	48, 8	51, 8
10 mm	-1.8	1.2	3, 0	...	45, 2	48, 2	51, 2

110 mm	- 1.6	1.4	3. 0	...	44. 6	47. 6	50. 6
120 mm	- 1.5	1.5	3. 1	...	44. 0	47. 0	50. 0
130 mm	- 1.4	1.6	3. 1	...	43. 5	46. 5	49. 5
140 mm	- 1.3	1.7	3. 1	...	43. 0	46. 0	49. 0
150 mm	- 1.2	1.8	3. 1	...	42. 5	45. 5	48. 5
160 mm	- 1.1	1.9	3. 2	...	42. 0	45. 0	48. 0
170 mm	- 1.0	2.0	3. 2	...	41. 6	44. 6	47. 6
180 mm	- 0.9	2.1	3. 2	...	41. 1	44. 1	47. 1
190 mm	- 0.8	2.2	3. 2	...	40. 7	43. 7	46. 7

2. táblázat: A 19*22-es mátrix szemléltetése.

3. A KÖTŐANYAG ÉS AZ ASZFALTKEVERÉK PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN

A számításokhoz a kötőanyag tulajdonságait úgy tekintettük, hogy azok PG 64 -22 fokozatnak felelnek meg. A PG (Performance Graded) jelölés a bitumen viselkedése fokozatára utal, a két számérték pedig a környezeti feltételeket leíró magas, illetve alacsony burkolattervezési hőmérsékleteket jelenti. Ebben az esetben egy PG 64-22 fokozatú kötőanyag a szabványban foglalt előírásokat 64 °C-nál kisebb, átlagos 7 napos magas burkolathőmérsékletre és -22 °C-nál nagyobb, alacsonyabb éves átlagú burkolathőmérsékletre vonatkozóan elégíti ki.

A bitumen hőmérsékletfüggő viszkozitás értékeit a 2 és 3 egyenletekkel határoztuk meg (NCHRP, 2011).

$$\log\log(\eta) = A + VTS\log(T_R), \text{ ha } T_R > T_{\text{kritikus}} \quad (2)$$

$$\log\log(\eta) = 1.095, \text{ ha } T_R \leq T_{\text{kritikus}} \quad (3)$$

Ahol, „ η ” viszkozitás [cP], „ T_R ” hőmérséklet [Rankine]. A PG 64-22 minőségű kötőanyagokra az alábbi paraméterek vonatkoznak:

$A = -3.680$ és $VTS = 10.980$.

A részletes modellezéshez a különböző aszfaltrétegeket a kopó, kötő és alaprétegbe építhető keverékekre jellemző összetételekre vonatkozó – eltérő – paraméterekkel vettük figyelembe. Ezen paramétereket a 3. táblázat foglalja össze, ahol a paraméterek a dél-koreai követelmények alapján lettek megadva (Molit, 2015) azonban hazai előírásokkal is jellemzően összhangban vannak.

Rétegek	p ₃₄	p ₃₈	p ₄	p ₂₀₀	v _a	v _{beff}	f (Hz)
kopóréteg	0	38,75	72,5	10	3,08	12,2	25
kötőréteg	2,5	24	45	6	4,159	10,5	25
alapréteg	13	35	51	4	3,777	9,3	25

3. táblázat: A különböző aszfaltrétegek modellezéséhez felhasznált paraméterek.

Tekintve a 2. táblázat első oszlopát, amely a (-5) és (-2) °C felületi hőmérsékleti tartományra, (-3,5) °C középérték figyelembevételével az 1. egyenlet alapján, centiméterenként tartalmazza a becsült hőmérsékleti értékeket, amelyek bemeneti paramétereket biztosítanak a kötőanyag dinamikus viszkozitásának előrejelzésére, amelyet a 2 és 3 egyenlet szerint számíthatunk ki.

A kötőanyag viszkozitásának ismeretében pedig becsülhető a keverék merevsége az alábbi (4) egyenlet segítségével. Ez az összefüggés az úgynevezett Witczak-egyenlet, amellyel meg lehet becsülni az aszfaltréteg modulusát a kötőanyag dinamikus viszkozitásának és az aszfaltkeverék tulajdonságainak függvényében (MOLIT, 2015).

$$\log|E^*| = 6.940166 - 0.00176(P_{200}) + 0.003889(P_4) - 0.08776(V_a) - 1.33426 \frac{V_{eff}}{V_{eff}+V_a} + \frac{(-3.63992-0.03114(P_4)+0.015546(P_{38})+0.010469(P_{34}))}{1+\exp(-0.09942+0.162727 \times \log f + 0.180695 \times \log \eta)} \quad (4)$$

A számítást példaként a (-5) – (-2) °C hőmérsékleti tartományra az alábbiakban közöljük, ahol az aszfaltréteg-modulust a 4. táblázatban foglaltak szerint számítottuk.

Pályaszerkezeti rétegek	Mélység (mm)	Kötőanyag dinamikai viszkozitása (10 ⁶ Poise)	Aszfaltmodulus (MPa)
kopóréteg	10	25 820	23,211
	20	23 725	22,832
	30	21 955	22,489
	40	20 438	22,176
kötőréteg	50	19 125	27,784
	60	17 976	27,489
	70	16 963	27,215
	80	16 062	26,959
	90	15 255	26,719
	100	14 529	26,494
alapréteg	110	13 872	32,697
	120	13 275	32,452
	130	12 729	32,220
	140	12 228	31,999
	150	11 768	31,789
	160	11 342	31,589
	170	10 947	31,398
	180	10 581	31,214
	190	10 239	31,039

4. táblázat: Anyagparaméterek becsült értékei (T= -3.5°C).

Hasonló módon a számítások a további 21 hőmérsékleti tartományra elvégezhetőek, és ebben az esetben előállítható az egyéves időszak hőmérsékleti viszonyait lefedő, azt kellőképpen reprezentáló 22 pályaszerkezeti modell aszfaltrétegekre vonatkozó része.

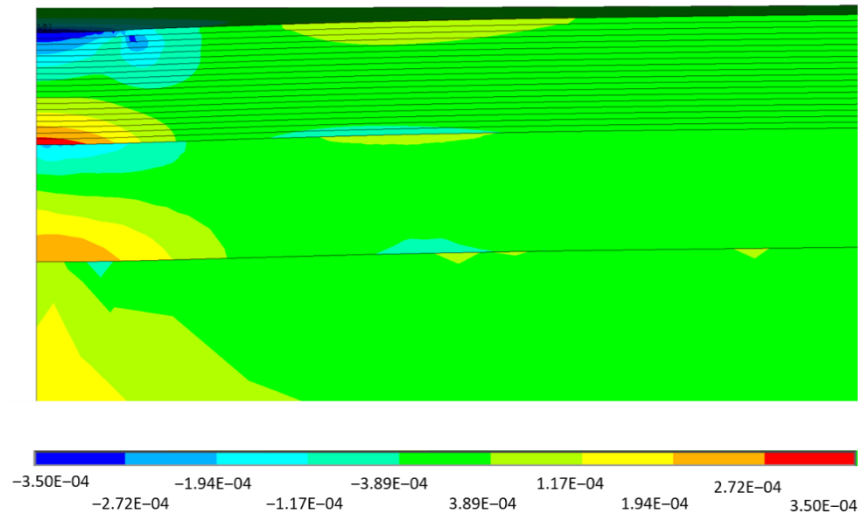
4. A VÉGESELEM MODELLEK ELEMZÉSE

Annak érdekében, hogy a teljes pályaszerkezet viselkedését modellezni tudjuk, az eddig vizsgált aszfaltrétegek alá, amelyeket 19 darab 1 cm vastag aszfalt al-réteggel jellemeztünk, 20 cm vastag, 350 MPa modulusú, nem kötött szemcsés alapréteget és 50 MPa általaj teherbírást tételeztünk fel.

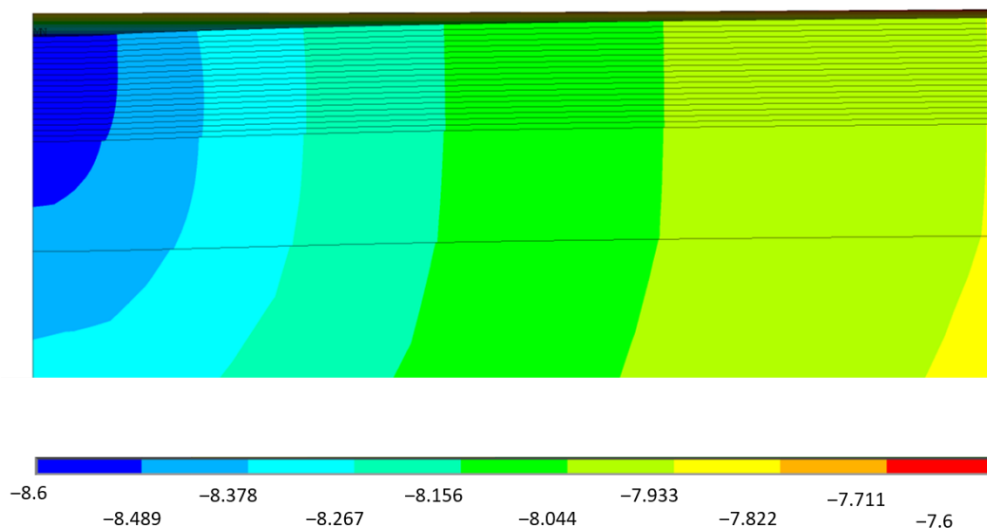
Az így már teljes pályaszerkezetet az (NCHRP/TRB, 2004) ajánlása alapján 9m x 9m x 9m, köbös VEM modellé alakítottuk, biztosítva, hogy a vízszintes alsó és függőleges oldalsó peremek ne közelítsék meg a terhelő felület középpontját az ajánlott 50, illetve 12 keréksugárnál jobban. Feltételeztük, hogy a szokványos 50 kN-os kerékterhelés egyenletesen oszlik meg egy kör alakú, 15 cm sugarú felületen. Az aszfalt, az alapréteg és az általaj anyagára 2,3, 2,0 és 1,5 t/m³ önsúlyterhet alkalmazunk, ebben a sorrendben. A végeelem-modellben a tartomány negyedét vettük figyelembe, és szimmetrikus

peremfeltételeket alkalmaztunk a szimmetria felületeire, míg az alsó réteg legalsó pontjait függőleges elmozdulásokkal, az egész tartományt merevtestszerű elmozdulásokkal szemben megtámasztottuk. A végeelem modellben nyolc csomópontú 3D szerkezeti szilárd testelemeket alkalmaztunk (az ANSYS szoftverben SOLID185 elemtípus), minden csomóponton három szabadságfokkal. A 19. aszfalt alréteg a szemcsés alaphoz, valamint a szemcsés alap az altalajhoz súrlódásmentes kontakt elemekkel kapcsolódtak.

A vízszintes fajlagos nyúlásokat az aszfaltrétegek alján (4. ábra) és a függőleges elmozdulást a földmű tetején kiszámítottuk (5. ábra).



4. ábra: A vízszintes megnyúlások [-] alakulásának szemléltetése a 22. számú modellben



5. ábra: A függőleges eltolódások [mm] szemléltetése a 22. számú modellben

Mind a 22 pályaszerkezeti modellre végeelemes számítás segítségével kiszámított igénybevételeket a 7. táblázat foglalja össze.

5. A PÁLYASZERKEZET KUMULATÍV FÁRADÁSA

Annak érdekében, hogy a vizsgált pályaszerkezet viselkedését modellezni tudjunk, tételezzük fel, hogy a várható forgalmi terhelés 1 millió egységtengely, amely évközben egyenletesen oszlik el. Azaz a 22 darab pályaszerkezeti modellre a forgalmi terhelés megoszlása megegyezik a felületi hőmérséklet eloszlással, amint azt az 5. táblázat mutatja.

A hőmérsékleti osztály sorszáma (1-22)	Mért hőmérsékleti adatok száma (-)	Adott hőmérséklet gyakorisága (%)	Tényleges tervezési forgalom (Ni, tényleges)
1	668	1,38	13 790
2	1557	3,21	32 142
3	3805	7,85	78 549
4	4610	9,52	95 167
5	3746	7,73	77 331
6	2666	5,50	55 036
7	3246	6,70	67 009
8	4446	9,18	91 782
9	4951	10,22	102 207
10	4146	8,56	85 589
11	3358	6,93	69 321
12	2656	5,48	54 830
13	2061	4,25	42 547
14	1659	3,42	34 248
15	1373	2,83	28 344
16	1056	2,18	21 800
17	876	1,81	18 084
18	636	1,31	13 129
19	461	0,95	9 517
20	304	0,63	6 276
21	106	0,22	2 188
22	54	0,11	1 115
Total	48441	100,00	1 000 000 egységtengely

5. táblázat: A hőmérsékleti értékek gyakorisága alapján a forgalmi terhelés megoszlása.

A megengedett forgalmi terhelést a Shell által kidolgozott alapösszefüggés ausztrál változatával (Austroads Ltd., 2017.), az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$N = \frac{SF}{RF} \left[\frac{6918(0.856V_b + 1.08)}{E^{0.36} \mu\epsilon} \right]^5 \tag{5}$$

ahol: „N” a megengedett teherismétlődések száma, „μϵ” megengedett megnyúlás aszfalt felsőalapréteg alsó síkján (microstrain), „V_b” bitumen térfogat%-a az aszfaltrétegben [%], „E” aszfalt modulus [MPa], „SF” eltolási tényező a laboratóriumi és az üzem fáradtsági élettartamok között (feltételezett érték = 6), „RF” megbízhatósági tényező (6. táblázat).

Megbízhatóság					
50%	80%	85%	90%	95%	97.5%
1.0	2.4	3.0	3.9	6.0	9.0

6. táblázat: Megbízhatósági tényező (RF).

A (5) egyenlet segítségével az VEM modellszámítások eredményeként kapott aszfaltmegnyúlások felhasználva, mind a 22 pályaszerkezeti modell esetén meghatározható a megengedett tengelyterhelés értéke, amelyet a 7. táblázat tartalmaz.

Pályaszerkezeti modell sorszama (1-22)	Becsült vízszintes megnyúlás (microstrain) (ANSYS)	Megengedett forgalmi terhelés (Ni, engedett) a (4) egyenlet szerint
1	48	30,039,423
2	56	20,120,211
3	60	15,579,040
4	68	10,986,355
5	79	7,431,197
6	91	4,999,914
7	105	3,460,413
8	120	2,412,376
9	127	1,974,324
10	143	1,422,479
11	149	1,216,528
12	167	899,067
13	174	771,340
14	181	670,285
15	201	512,766
16	210	444,640
17	231	348,753
18	244	299,301
19	267	240,659
20	290	196,196
21	314	162,043
22	339	135,481

7. táblázat: A VEM modell segítségével megkapott megnyúlások az alsó aszfalréteg alsó síkjában és az ez alapján becsült megengedett forgalmi terhelés értékek

Ezen értékeket (7. táblázat, utolsó oszlop) összevetve a feltételezett forgalmi terheléssel (5. táblázat utolsó oszlop) minden egyes pályaszerkezeti modell esetére meghatározható a kumulált fáradás mértéke, ahol 0: a terheletlen szerkezet és 1: a kifáradt szerkezetet szimbolizáló szélsőérték. A kumulatív károsodási tényezőt (CDF) a Miner hipotézissel (6. egyenlet) számítottuk:

$$CD = \sum_{MINER} = \frac{N_{1,tényleges}}{N_{1,megeng}} + \frac{N_{2,tényleges}}{N_{2,megeng}} + \frac{N_{3,tényleges}}{N_{3,megeng}} + \dots + \frac{N_{22,tényleges}}{N_{22,megeng}} \leq 1 \tag{6}$$

ahol: „N_{i,tényleges}” (i = 1...22), a forgalmi terhelés tényleges száma „i” pályaszerkezeti modellnél, „N_{i,megeng}” (i = 1...22), megengedett tengelyterhelés „i” pályaszerkezeti modellre.

1 millió egységtengely és 95% -os megbízhatósági szint mellett a CDF-érték 0,72; következésképpen a pályaszerkezet mintegy 28%-os szerkezeti kapacitással (fáradási tartalékkal) rendelkezik. Abban az esetben, ha a forgalmi terhelést 1,34 millióra növeljük, a CDF-értéket 0,99-re emelkedik és megközelíti az elméleti határát, azaz a vizsgált pályaszerkezet ennél magasabb fáradási igénybevételt nem képes elméletileg elviselni.

6. A KAPOTT EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE REFERENCIASZERKEZETTEL

Annak érdekében, hogy a VEM modellel kapott eredményeket értékelni tudjuk, az így kapott eredményeket egy ún. hagyományos, 5 rétegű modellszámítás eredményeivel vetettük össze, ahol a hőmérséklet hatását az ún. ekvivalens hőmérsékleten keresztül vettük figyelembe. Ebben a számításban egyetlen pályaszerkezeti modellt hoztunk létre.

Az ekvivalens hőmérséklet számítását ebben a cikkben nem tárgyaljuk, értékére 20 °C-ot állapítottunk meg (Gribovszki et al., 2016) és ehhez a hőmérsékleti értékhez tartozó modulus értékekkel számoltunk, a 8. táblázatban foglaltakkal összhangban.

Pályaszerkezeti rétegek	Modulus (MPa)
4 cm aszfalt kopóréteg	4,000
6 cm aszfalt kötőréteg	5,800
9 cm aszfalt alapréteg	4,500
20 cm szemcsés alapréteg	350
altalaj	50

8. táblázat: Referencia pályaszerkezeti modell.

A számításokat Shell BISAR programmal elvégezve az aszfaltrétegek alsó síkjában kiszámított vízszintes nyúlás 143 (mikronnyúlás vagy microstrain) adódott, amelyhez 4 250 836 egységterengely terhelés tartozik 95% -os megbízhatósági szint mellett.

A két megközelítés közötti különbség jól látható és számszerűsíthető. A hőmérsékleti hatások részletesebb figyelembevétele jelentősen csökkentette az elméletileg meghatározható megengedett forgalmi terhelést.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az aszfaltrétegekre gyakorolt hőmérsékleti hatás figyelembevétele döntő tényező a pályaszerkezet méretezésénél. Ebben a cikkben az alsóbb aszfaltrétegek hőmérsékletét a német irányelvek alapján becsültük meg. A becsült értékek megfelelő összefüggésben voltak a korábban létre hozott meteorológiai állomásról gyűjtött valós adatokkal, és jó korrelációt kaptunk. Ezt a lépést követően meghatároztuk a hőmérséklet-eloszlás relatív gyakoriságát.

A pályaszerkezetünk aszfaltrétegeinek modelljét 19 darab 1 cm vastag rétegekből építettük fel, annak érdekében, hogy megfelelően tükrözze a hőmérséklet-változást, amit pedig a kötőanyag viszkozitásának és az aszfalt modulusának becsléséhez használtunk fel.

Az így elvégzett modellszámítások és az ún. ekvivalens (egyenértékű) hőmérsékleti módszerrel végzett egyszerűsített számítások összehasonlítása azt mutatta, hogy a cikkben vázolt részletes modell jobb előrejelzést nyújthat a pályaszerkezet valós, teljes szerkezeti kapacitásáról. Ennek oka az, hogy a hagyományos módszer nem tudja figyelembe venni az aszfaltburkolat szerkezetére gyakorolt hőmérsékleti hatások komplexitását.

A módszer rávilágít arra, hogy a részletes hőmérsékleti profil alkalmazásával végzett számítás valóságosabb bemenetet nyújt a szerkezet kialakításához, és realiztikusan mérlegelhető a különféle aszfaltkeverékek, polimerrel vagy gumival modifikált keverékek, ill. ún. nagy modulusú aszfaltkeverékek közötti teljesítményeltérések hatása.

8. HIVATKOZÁS

Austrroads. 2017: Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design, Sydney: Austrroads Ltd.

Gribovszki, Z., Igazvölgyi, Z., Kalicz, P., Pethő, L., Kisfaludi, B., Tóth, C., Markó, G., Soós, Z., Péterfalvi, J., Szentpéteri, I. Primusz, P., Tódor, D. 2016: Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv. Kutatási jelentés. Megrendelő: Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ.

Kayser, S. 2007: Berücksichtigung klimatischer Bedingungen bei der rechnerischen Dimensionierung von Oberbauten für Verkehrs-flächen, Dissertation, TU Dresden.

MOLIT. 2015: Mechanistic-empirical pavement design specification, Seoul: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea .

NCHRP. 2011: LTPP Computed Parameter: Dynamic modulus, US Department of Transportation Federal Highway Administration.

Pethő, L. 2008: A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú útpályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek fáradási méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés.

RDO. 2009. Guidelines for mathematical dimensioning of foundations of traffic surfaces with a course asphalt surface, Research society for roads and traffic, Berlin.