



# Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása hét magyarországi tesztparcellára a REMO klímamodell meteorológiai adatai alapján

## Herceg András

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Erdőmérnöki kar, Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet

E-mail: [herceg.andras@uni-sopron.hu](mailto:herceg.andras@uni-sopron.hu)

DOI: [10.36246/UL.2024.1.02](https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.02)

### KIVONAT

Az útpályaszerkezetek üzemeltetésük során a forgalmi terhelésen túl éghajlati hatásoknak is kitéttek. Ennek jelentőségét felismerve az USA-ban a 20. század utolsó évtizedében új bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki és integráltak az American Strategic Highway Research Program (SHRP) -ba. Az amerikai eredmények alapján, Magyarországon már 1995-ben létesült SHRP kötőanyagszabvány szerinti vizsgálatokra alkalmas laboratórium, és elindult a bitumenek SHRP megfelelési vizsgálata. Az akkortájt innovatív folyamat azonban megszakadt, így hazánkban jelenleg az útbitumenek osztályozása jellemzően a hagyományos vizsgálati eljárások alapján történik.

A viselkedésalapú kötőanyagszabvány kulcsparamétere a viselkedési fokozatok (Performance Grade (PG X-Y)) rögzítése, ami ugyan a magyar klimatikus adatok feldolgozását követően a kilencvenes években megtörtént, de mára aktualizálásra szorul.

Jelen cikk egy olyan kutatás módszertani eredményeit mutatja be, ahol a kiválasztott 7 magyarországi vizsgálati cella (Budapest, Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely) hőmérsékleti adatait felhasználva a jelenlegi és a jövőre prognosztizált klimatikus viszonyok is figyelembevételre kerültek. A kiválasztott cellák Magyarország 7 tervezési-statisztikai régióját veszik figyelembe úgy, hogy mindegyik régióból 1-1 város került kiválasztásra. A kiválasztott 7 cella alapján kapott eredmények természetesen még nem általánosíthatóak hazánkra, de indokolttá teszik, hogy egy egész országot lefedő, rácspon alapú („sokpontos”) kutatás során szükséges a hazai viselkedési fokozatok újra meghatározása.

*Kulcsszavak:* Viselkedési fokozat (PG), PG klíma zónák, SHRP program

### ABSTRACT

In addition to traffic loads, pavements are also subject to climatic influences during their operation. Recognizing this importance, a new bitumen classification system was developed in the USA in the last decade of the 20th century and was integrated into the American Strategic Highway Research Program (SHRP). On the basis of the American results, a laboratory for testing according to the SHRP binder standard was established in Hungary in 1995 and the testing of bitumen for SHRP compliance was started. However, the then innovative process was stopped, so that at present the classification of road bitumen in Hungary is typically based on conventional testing procedures.

The key parameter of the behavioral binder standard is the recording of the performance grades (PG X-Y), which was done in the 1990s after processing the Hungarian climatic data, but now needs to be updated.

This paper presents the methodological results of a study where the current and projected future climatic conditions were taken into consideration using temperature data from 7 selected Hungarian study cells (Budapest,

Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely). The selected cells cover the 7 planning-statistical regions of Hungary, with 1 city selected from each region. The results obtained from the selected 7 cells are of course not yet applicable to the whole country, but justify the need to redefine the domestic behavioral gradients in a grid point ("multi-point") study covering the entire country.

*Keywords:* performance grade (PG), PG climate zones, SHRP program

### **Herceg András**

*A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Geomatikai és Kultúrmérnöki Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a vízmérleg-modellezés.*

---

## **1. BEVEZETŐ**

Az aszfaltútburkolatok élettartamát nemcsak a forgalom, hanem a helyi időjárási viszonyok (pl. léghőmérséklet, sugárzás, csapadék) is nagyban befolyásolják, amelyekre emberi beavatkozással nem lehet hatni [1]. Ezért fontos, hogy ezeket figyelembe vegyük az útburkolat tervezésekor. Kifejezetten fontosak a hőmérséklet és a sugárzás hatásai, mivel az aszfaltútburkolatok ellenállása a terhelésnek hőmérsékletfüggő [2] [3]. Magas hőmérsékleten az aszfalt rugalmas-viszkózus, míg alacsony hőmérsékleten rugalmas tulajdonságokat mutat. Nyáron az útburkolatok akár 50-60 °C-ig felmelegedhetnek, ami miatt deformálódhatnak és keréknyomok keletkezhetnek [4]. Télen viszont a hideg útburkolatokra (<0 °C) a térfogatcsökkenés és a napi hőmérsékletingadozás miatt repedések keletkezhetnek. Emellett a pályaszerkezet nedvességtartalmának változása is deformációt okozhat, például amikor gyakoriak a fagyás-olvadás ciklusok [2] [5]. A közepes hőmérsékleti tartományban (5-15 °C) pedig az aszfaltútburkolatok jelentős fáradása várható. A valós környezeti változások és a forgalom által terhelt útburkolatokon a hőmérsékletfüggő károsodási formák összetett módon és egymást befolyásolva jelentkeznek [4].

Az említett káros hatások arra ösztönzik a kutatások fejlesztését, hogy azok az útpályaszerkezet-hibák kialakulását igyekezzenek megelőzni, valamint hosszú távon határozzák meg a valós aszfalt fenntartási feltételeket [2]. Kevésbé hangsúlyozott, de kiemelt fontosságú az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utak, valamint az agroerdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál, illetve az erdők feltáróhálózatánál a környezeti jellemzőinek alaposabb vizsgálata. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben is érezteti hatását.

A klimatikus hatások aszfaltrétegekre gyakorolt hatása azonban a kötőanyagok viselkedésének tanulmányozásával vizsgálható. Jelen kutatás a magyar klimatikus viszonyoknak megfelelő bitumenfokozatok korabeli meghatározásának korszerűségét hivatott megvizsgálni, és igyekszik ellenőrizni az amerikai eredmények mintegy 30 évvel ezelőtti hazai adaptációjának megbízhatóságát, egyrészt az időközben a szakma rendelkezésére álló pontosabb meteorológiai adatbázis(ok) felhasználásával, másrészt a modellszámításhoz alkalmazott és időközben átdolgozott újabb egyenletek segítségével a kiválasztott 7 mintaterületen.

## **2. KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAI**

Az éghajlatváltozás fő jellemzője az átlaghőmérséklet globális emelkedése (globális felmelegedés) és az ebből következő, a hidrológiai ciklusra gyakorolt hatások. [6], [7].

Az előrejelzett felmelegedés valamennyi európai területen várhatóan 2 °C-kal lesz magasabb, mint a globális [7], [8].

Az olyan szélsőséges események, mint az aszályok feltételezhetően gyakrabban fordulnak majd elő [6], (Kjellström et al. 2011). A csapadék eloszlásának változásai gyakran eredményeznek megnövekedett csapadékmennyiséget az egyes események során, azonban nem befolyásolják az éves csapadékmennyiséget.

Ilona és munkatársai (2022) [9] átfogó elemzést végeztek, statisztikai tesztek és trendelemzést alkalmazva a hőmérséklet és a csapadék idősorain, hogy összehasonlítsák az 1871-1918 és az 1971-2020 közötti időszakokat. Az eredmények figyelemre méltó hőmérsékleti különbséget mutatnak, az 1971-2020-as időszak 0,77 °C-kal volt melegebb, mint az 1871-1918-as időszak. A felmelegedés az utóbbi 40 évben tehát nagyon intenzív [10]. A maximális hőmérséklet minden évszakban jelentős emelkedő tendenciát mutatott, melyek közül a legjelentősebb felmelegedés a téli időszakban volt megfigyelhető (1,29 °C). A felmelegedés következtében kevesebb a fagyos nap (a napi minimumhőmérséklet 0 °C alatt marad), mint a 20. század elején: 1901 és 2020 között országos átlagban 19 nappal kevesebb. Az utóbbi évtizedekben gyakrabban fordulnak elő hóhullámok (napi átlaghőmérséklet  $\geq 25$  °C). Mindazonáltal az 1980-as évektől kezdve az aszályok egyre gyakrabban fordulnak elő a vegetációs időszakban [11].

A csapadékviszonyok tendenciái sokkal tisztázatlanabbak. Magyarországon az elmúlt 120 évet vizsgálva az értékelési csapadékmintázatokban jelentős elmozdulás figyelhető meg. Míg az egész időszak alatt általános csökkenés figyelhető meg, az elmúlt 50 évre összpontosítva ellentétes tendencia rajzolódik ki. Ráadásul az elmúlt két évtizedben a csapadék szélsőértékei is észrevehetően növekedtek [10], [12]). Hazánkban emellett a csapadék eloszlása rendszertelen, ezért a heves csapadékesemények és a súlyos aszályok előfordulása egyaránt valószínű [13].

### 3. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSAI A PÁLYASZERKEZETRE

A klímaváltozás egyik sajátossága, hogy a megváltozott környezeti feltételek hatással vannak az éghajlatváltozást előidéző gazdasági és társadalmi tevékenységekre. Az infrastruktúra hosszú távú időállósága kulcsfontosságú, és fontos, hogy a jelenleg tervezett úthálózatok pályaszerkezetei mennyire lesznek majd képesek alkalmazkodni a változó klímaviszonyokhoz, amely alapvetően az egyes tervezési paraméterek (például egyenletek állandói, zónahatárok, zónákra jellemző faktorok) előrejelzésekben prognosztizált jövőbeli változásokra való kielevezettségén fog múlni. Mindazt a 2. fejezetben bemutattuk, a klímaváltozási forgatókönyvek a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedését vetítik előre (például hóhullámok, kései fagyok, vagy a hosszú aszályos időszakok nyáron) [2].

Az éghajlatváltozás hatásainak tekintetében az utak állapotában a hőmérséklettel kapcsolatos hatások a legmarkánsabban észlelhetők. Ezen hőmérsékleti hatásokat elemezve pár fontosabb példát ki kell emelni [2]:

- Az egyre forróbb nyári hónapok fokozottan károsíthatják az aszfaltburkolatot. A gyakoribb hőségnapok és hőségperiódusok jelentősen hozzájárulnak az útburkolat nyomvályúsodásához, különösen akkor, ha a napi átlaghőmérséklet három napon át meghaladja a 26 °C-ot. Fontos figyelmet fordítani a nyári melegedés tendenciájára, mivel az aszfaltkeverékek merevségi modulusai, különösen a plasztikus deformációra való hajlam, kedvezőtlen irányban változnak a hőmérséklet emelkedésével.
- A fagypont körüli hőmérséklet és a gyakrabban változó halmazállapotú csapadék is problémákat okoz az útburkolatokban. A fagy miatt aszfaltrepedések jönnek létre, és az így beszivárgó víz a kátyúsodást fokozza.
- A gyakoribb fagyás-olvadás ciklusok a kritikus időszakokban a földmű fokozottabb elnedvesedését, ezáltal teherbírás csökkenését eredményezhetik [14].
- A városokban az aszfaltozott utak, a kevesebb zöld felület, az egyre gyakoribb nagy üvegfelületekkel rendelkező épületek és a használt légkondicionálók további hőmérséklet-emelkedést eredményeznek, amely tovább súlyosbíthatja a városokban tapasztalható nyomvályúsodást. [15].
- A fokozódó aszály vitalitás-csökkenést eredményez az útburkolatokat szegélyező növényállományok esetén, csökkentve azok szélsőségmérséklő szerepét, fokozva ezzel a kedvezőtlen hatások még erőteljesebben érvényesülését.

A klímaváltozás tehát a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja [16].

#### 4. SHRP BITUMENKUTATÁSI PROGRAM

Az Európai országok többségéhez hasonlóan hazánkban a pályaszerkezetekben funkcionáló bitumenek tesztelése és osztályozása a 25 °C-on történő penetrációs értéken alapszik, az adott klimatikus körülményeket figyelmen kívül hagyva.

Az aszfaltburkolat sötét felszínének hőt megőrző tulajdonsága miatt (amit a kisebb albedó okoz) azonban legtöbbször magasabb hőmérsékletet mutat, mint a környező levegő [16]. Míg az aszfalthőmérséklet mérések csak korlátozottan állnak rendelkezésre, a léghőmérsékletmérések országos lefedettséget biztosítanak és alkalmazhatóak az aszfalthőmérséklet becslésére. A léghőmérséklet általában szezonálisan, havi gyakorisággal használható az aszfaltburkolatok hőmérsékletének becslésére. Az aktuális aszfalthőmérséklet nemcsak a levegő hőmérsékletétől, hanem az előző időszak (órák, napok) időjárásától is függ. Ennek következtében nehéz pontos összefüggést meghatározni nagy időbeli felbontásban.

Az SHRP bitumenkutatási program keretében, az 1990-es években egy új, az aszfalt-keverékek teljesítmény-tesztjén alapuló bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki, amelyet mára a legtöbb USA államban, Kanadában és megannyi országban is [18] [19], így Európán belül is bevezettek [19], [20], [21].

A „Performance Grade” (PG), vagyis viselkedési fokozat elnevezésű, új megközelítésű bitumenosztályozási rendszer kifejlesztésének az alapcélja az utak minőségének és tartóságának fejlesztése volt. Konceptiója, hogy a pályaszerkezetekben levő bitumenkeverékekre vonatkozó tesztípusokat és követelményeket az aktuális, valamint helyi éghajlati és időjárási körülményekhez igazítsák [23] [24]. A kutatás eredménye a Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) keverék-tervezési módszer. A bitumenekre vonatkozó előírások létrehozása, az aszfaltok tervezési hőmérsékletének, adott éghajlati zónában való meghatározásával történik, ahol a bitumeneknek specifikus teljesítmény-követelményeknek kell megfelelnie [19] [25].

#### 5. ANYAG ÉS MÓDSZER

##### 5.1. VISELKEDÉSI FOKOZAT (PERFORMANCE GRADE) KIALAKÍTÁSA BITUMENEK ESETÉN

A bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása és majd osztályozási alapja, az útpályaszerkezetek napi minimum és a maximum hőmérsékletének meghatározásán nyugszik (PG X-Y).

Az aszfalt maximum tervezési hőmérséklete, egy adott éven belül hét, egymást követő legmelegebb nap átlaghőmérsékletéből kerül meghatározásra. (PG X). Az aszfalt minimum tervezési hőmérséklete, az egy adott évben mért legalacsonyabb napi minimumhőmérséklettel számolható. (PG Y) [19].

A Superpave előírása szerint egy vizsgálati periódus: 20-30 év lehet. A minimum és maximum aszfalthőmérsékleteket évenként kell meghatározni [19].

Az aszfalt osztályozása (PG X-Y meghatározása) pedig, az Amerikai AASHTO M 320-10 szabvány alapján, 6 °C-os lépésközzel történik [1] (lásd 1. táblázat).

1. táblázat: Viselkedési fokozat osztályozása [1].

Viselkedési Fokozat (PG)	
PG-X (maximális bitumenüzemeltetési hőmérséklet) [°C]	PG-Y (minimális bitumenüzemeltetési hőmérséklet) [°C]
<46	>-34; >-40; >-46
<52	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40; >-46
<58	>-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<64	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<70	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34; >-40
<76	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34
<82	>-10; >-16; >-22; >-28; >-34

Az 1. táblázat értelmezéséhez példaként nézzünk egy PG X-Y: 70-34-ot. Ez esetben egy adott bitumen útpályaszerkezet rétegbe elhelyezett aszfalt kötőréteg rendeltetésszerűen -34 °C-tól, +70 °C-ig alkalmazható, a megadott valószínűségi kategóriában.

### 5.2. A MAXIMUM ÉS A MINIMUM PG HŐMÉRSÉKLETEK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERE

A módszer valószínűségi szintjei a következők lehetnek: 50%, 85%, 95%, 98%. Egy 50% -os valószínűség azt jelenti, hogy egy adott maximális vagy minimális léghőmérséklet minden második évben fordulhat elő. A 98% -os valószínűség pedig azt jelenti, hogy a maximális vagy a minimális léghőmérséklet ötven évente fordulhat elő [19].

A léghőmérsékletekből számolt útpályaszerkezet hőmérsékletek, a pályaszerkezet hőáramának és hőenergia-megmaradásának elméleti modelljén alapulnak. A modell-validáció a levegő és az útpályaszerkezetek hőmérsékletek terepi mérésével történt és erős korrelációt mutatott [26] [27].

A minimális hőmérsékletet a pályaszerkezet felületére, a maximális hőmérsékletet pedig annak felülete alatti 20 mm-es mélységre kell meghatározni [19].

Az egy adott aszfaltréteghez kötött maximum PG hőmérséklet meghatározásra, a következő egyenlettel lehetséges, [23] [27]:

$$T_{\max}^d = 54,32 + 0,78 \cdot T_{\text{air}} - 0,0025 \cdot \phi^2 - 15,14 \cdot \log_{10}(d + 25) + z(9 + 0,61 \cdot \sigma_{\text{air}}^2)^{0,5} \quad (1)$$

Ahol:

$T_{\max}^d$ : Maximum pályaszerkezet hőmérséklet, „d” mélységben, a felső PG érték [°C]

$T_{\text{air}}$ : A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek átlaga [°C]

$\phi$ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: a réteg tervezési mélysége [mm]

$\sigma_{\text{air}}$ : A 7 napos maximumhőmérsékletek szórása [°C]

z: statisztikai mennyiség (normál eloszlás alapú). Z=0, ha P=50%; z=0,84, ha P=80%; z=2,05, ha P=98%.

Egy adott aszfaltrétegben a minimum PG hőmérséklet került meghatározásra pedig az alábbi összefüggés használatos [23] [27]:

$$T_{\min}^d = -1,56 + 0,72 \cdot T_{\text{air}} - 0,004 \cdot \phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d + 25) + z(4,4 + 0,52 \cdot \sigma_{\text{air}}^2)^{0,5} \quad (2)$$

Ahol:

$T_{\min}^d$ : A minimum pályaszerkezet hőmérséklet „d” mélységben [°C]

$T_{\text{air}}$ : Minimum léghőmérsékletekből számolt átlag [°C]

$\phi$ : A meteorológiai állomás szélességi foka [°]

d: A réteg tervezési mélysége [mm]

$\sigma_{\text{air}}$ : A 7 napos maximumhőmérsékletek szórása [°C]

z: statisztikai mennyiség (normál eloszlás alapú). Z=0, ha P=50%; z=0,84, ha P=80%; z=2,05, ha P=98%.

### 5.3. KUTATÁSI TERÜLET ÉS ADATBÁZIS

A napi maximális és minimális hőmérséklet értékek, mint napi felbontású bemeneti adatok 7 magyar város, mint kutatási területekre eső pixel felhasználásával kerültek letöltésre.

A 7 kiválasztott cella figyelembe veszi Magyarország 7 tervezési-statisztikai régióit úgy, hogy mindegyik régióból 1-1 város került kiválasztásra ((Budapest, Eger, Debrecen, Szeged, Kaposvár, Veszprém, Szombathely). Vizsgálati időszakként „jelennek” a 1990-2020 (1990.01.01. – 2019.12.31.)

közötti 30 éves időszakot jelöltük ki. Az előrejelzéshez a REMO regionális klímamodellt használtuk fel, amelynek alapadatait az 2. táblázat mutatja. Az előrejelzés időszakai pedig 2020-2050 (2020.01.01 – 2049.12.31.) valamint 2050-2080 (2050.01.01 – 2079.12.31.).

### 5.3.1. FORESEE

A léghőmérsékletekhez felhasznált adatbázis a „FORESEE” (Open Data-base FOR ClimatE Change-Related Impact Studies in CEntral Europe), ami egy napi léptékű rácsponti adatbázis, meteorológiai adatokkal (minimális és maximális léghőmérséklet, valamint csapadék).

A FORESEE ~1 270 000 km<sup>2</sup>-es területet ölel fel, 1/6 × 1/6 fokos térbeli felbontással, és teljes egészében lefedi Bosznia-Hercegovinát, Horvátországot, Csehországot, Szlovákiát, Szlovéniát és Magyarországot.

A múltra (1951-2019) interpolált megfigyelési (mért) adatok állnak rendelkezésre. Az előrejelzés adatai pedig 2020-2100 között, 10 korrigált regionális klímamodellre (ENSEMBLES FP6 projekt [29] érhetőek el, A1B üvegházgáz kibocsátási scenáriót felhasználva [30].

2. táblázat: Az alkalmazott RCM-ek [31].

Modell azonosító	Kutató intézet	Regionális klímamodell	Globális klímamodell	Kibocsátási forgatókönyv	Térbeli felbontás
1	Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI)	REMO	ECHAM5	A1B	25km

## 6. EREDMÉNYEK

A kutatás eredményeit a 3. és 4. táblázat összegzi a vizsgálati időszakokra.

A táblázatokban és az ábrákon szereplő maximum, valamint minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek meghatározása tehát, „A maximum és a minimum PG hőmérsékletek meghatározásának módszere” alfejezetben közölt képletek segítségével történt. Fontos megjegyezni, hogy a képletek felhasználása során valószínűségi szintnek, a P=98%-ot vettünk, amiből z=2,05 következik.

3. táblázat: Az 1990-2020-as vizsgálati időszak, mért adatokra alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezet-mélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Budapest				
	A hét egymást követő legmagasabb napi max. átlaga [°C]*	Max. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]	Napi min. lég-hőm.-ből számolt átlag [°C]	Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
1990-2020	33,79 (1,98)	56,96 (1,54)	-11,95 (3,02)	-16,62 (2,17)
2020-2050	33,13 (1,91)	56,40 (1,49)	-11,88 (4,16)	-17,89 (3,00)
2050-2080	34,95 (2,39)	58,19 (1,86)	-9,55 (5,33)	-17,67 (3,83)
Eger				
1990-2020	32,14 (2,05)	55,61 (1,60)	-14,72 (2,75)	-18,51 (1,98)
2020-2050	32,22 (2,06)	55,69 (1,61)	-12,83 (3,99)	-18,53 (2,87)
2050-2080	34,13 (2,60)	57,63 (2,03)	-10,63 (3,73)	-16,65 (2,69)

Debrecen				
1990-2020	32,36 (1,85)	55,72 (1,45)	-15,33 (2,94)	-19,01 (2,12)
2020-2050	32,51 (2,20)	56,11 (1,72)	-12,11 (3,41)	-17,21 (2,45)
2050-2080	34,17 (2,31)	57,48 (1,80)	-9,64 (2,39)	-14,37 (1,72)
Szeged				
1990-2020	34,29 (1,89)	57,56 (1,47)	-15,19 (3,92)	-19,53 (2,82)
2020-2050	34,44 (2,27)	57,97 (1,77)	-12,95 (3,05)	-16,93 (2,20)
2050-2080	35,97 (2,01)	58,96 (1,57)	-10,54 (3,62)	-15,83 (2,61)
Kaposvár				
1990-2020	32,76 (1,96)	56,39 (1,53)	-12,72 (2,93)	-16,68 (2,11)
2020-2050	32,61 (1,87)	56,21 (1,46)	-12,73 (3,99)	-17,90 (2,88)
2050-2080	34,39 (2,36)	57,97 (1,84)	-10,13 (4,35)	-16,45 (3,13)
Veszprém				
1990-2020	32,18 (2,09)	55,87 (1,63)	-13,51 (3,24)	-17,86 (2,33)
2020-2050	31,55 (1,82)	55,18 (1,42)	-13,55 (4,07)	-18,85 (2,93)
2050-2080	33,50 (2,45)	57,19 (1,91)	-10,49 (4,29)	-16,91 (3,09)
Szombathely				
1990-2020	32,19 (2,11)	55,85 (1,64)	-14,15 (2,99)	-18,10 (2,15)
2020-2050	31,12 (1,69)	54,68 (1,31)	-14,33 (5,16)	-20,89 (3,72)
2050-2080	33,01 (2,32)	56,66 (1,81)	-10,13 (4,83)	-17,38 (3,48)

\*: Egy év 365 napján mért napi maximum hőmérséklet értékek közül a hét, egymást követő legmagasabb érték átlaga.

4. táblázat: A tesztcellák bitumen PG besorolása a három vizsgálati periódus szerint.

	Budapest	Eger	Debrecen	Szeged	Kaposvár	Veszprém	Szombathely
1990-2020	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22
2020-2050	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22
2050-2080	PG 64-22	PG 58-22	PG 58-16	PG 64-16	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22

Az 1. táblázatban közölt kategóriák alapján [32], az 1990-2020, és 2020-2050 időszak eredményei mind a 7 tesztcella esetén a PG 58-22-os kategóriába sorolhatóak, azaz valamely útpályaszerkezeti rétegbe épített, adott bitumenes kötőanyagú aszfaltkeverék rendeltetésszerűen -22 °C-tól, +58 °C-ig alkalmazható, az alkalmazott 98%-os valószínűségi szint mellett. Az első két vizsgálati időszakban kapott eredmények hasonlóságának az oka, hogy a hőmérsékletadatokban alapvetően stagnálás tapasztalható a 21. század közepéig [33].

A harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) azonban a besorolás Budapest esetén PG 64-22, Debrecen esetén PG 58-16, míg Szeged esetén PG 64-16.

Magyarország vonatkozásában a PG besoroláshoz szükséges alapszámításokat a kilencvenes években elsősorban dr. Tóth Sándor és Perlaki Róbert nyomán végezték el. Elsődleges számításaik szerint az akkori magyar éghajlati viszonyoknak döntő mértékben (86,7%) a PG 58-28, és 13,7%-ban a PG 58-22

besorolás felelt meg. Megjegyezzük, hogy az ekkor járatos B-65, illetve B-80 típusú bitumenek a PG 58-28 követelményszinteket nem elégtették ki [34].

A minimális burkolathőmérséklet összefüggést később módosították, emiatt a számításokat újra elvégezve, a hazánkban alkalmazandó viselkedési fokozatnak már a PG 58-22 típust ajánlották. A kapott eredmény egyezést mutatott a hasonló szélességi fokon fekvő észak-amerikai államok esetén választott besorolásokkal.

Jelen kutatás eredményeit összehasonlítva a korábbi, „Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján” c. cikk [35] eredményeivel ott az 1990-2020, és 2020-2050 időszak esetén a PG 52-16-os kategóriába sorolható be a tesztparcella, míg a harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) a PG 52-10-es kategóriába esik, ami ott az enyhülő téli minimumhőmérsékletre engedett következtetni. Megjegyzendő, hogy az eredményekben való eltérést elsősorban a számításokhoz választott megbízhatósági szint indukálja, mivel a [35] cikk az 50 %-os, míg a jelenlegi pedig 98 %-os valószínűségi szintet alkalmazza.

## 7. KONKLÚZIÓ

A pályaszerkezet-méretezést célzó modellek „csak” a vélelmezett forgalmi terhelésre adnak választ, hiszen a tervezési élettartamra vetített jövőbeli forgalomlefolys csak jelentős bizonytalansággal becsülhető, így a végeredmény is fenntartásokkal kezelendő [35]. Az aszfaltútburkolatok élettartamát azonban nemcsak a forgalom, hanem a helyi időjárási viszonyok (elsősorban léghőmérséklet) is nagyban befolyásolják. A hagyományos módszerek nem tudják figyelembe venni az aszfaltburkolat szerkezetére gyakorolt hőmérsékleti hatások komplexitását a részletes hőmérsékleti profil hiányában. Cho et al. 2020, 2022 [36] [37] az alsóbb aszfaltrétegek hőmérsékletét a német irányelvek alapján becsülték, az aszfaltréteg-hőmérséklet közvetlen vizsgálat nélküli.

Jelen kutatás a „Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján” c. cikk [38], mint első módszertan eredményeket bemutató kutatás folytatásaként íródott. A FORESEE adatbázisból lekérdezett klímaadatok felhasználásával, a Superpave módszerrel számolt aszfalthőmérsékletek révén a bitumen alapú kötőanyagok a kiválasztott 7 mintaterület éghajlati viszonyait figyelembe véve töltik be rendeltetésüket. Lényeges azonban, hogy jelen cikk egy országos léptékű viselkedésbesorolást megcélzó kutatás második lépése, így a közölt eredmények ennek tükrében kezelendők.

A kapott eredmények részben térnek el a témában közel 30 éve publikált első hazai eredményektől [24]. A tervezéshez használt maximális burkolathőmérséklet fokozata mindkét esetben az 58-as fokozatba esik (bár a 2050-2080-as periódusban a Budapest és Szeged tesztcellák a 64-es kategóriába voltak sorolhatóak). Az hasonlóság elsősorban a számításokhoz választott megegyező megbízhatósági szint (98%) okozza. Megjegyzendő azonban, hogy a valószínűségi szint rögzítése a mindenkori útügyi adminisztráció kockázatvállalásának függvénye.

A minimális burkolathőmérséklet értékei részben mutatnak egyezést.

A kapott 22-es fokozat (és Budapest és Szeged esetén 16-os a 2050-2080-as vizsgálati időszakban) csökkenést jelent a 30 évvel ezelőtti, 86,7%-ban 28-as értékekhez képest, bár a maradék 13,7%-ban viszont egyezést mutat [35]. Az eltérést feltételezhetően a klimatikus változások is magyarázzák, hiszen a klímaelőrejelzések az enyhülő téli hőmérsékletek irányába mutatnak [5] [16] [22].

Az ország teljes területén végzett kutatás és a kilencvenes évekbeli eredmények újraértékelése indokolt, mivel az eredeti módszer fejlesztésre került, és szükség van a tervezési forgalom és az átlagsebesség értékeinek figyelembevételére a PG alapértékeinek korrigálásához. Ezeknek a paramétereknek a figyelembevétele eddig még nem történt hazánkban, bár a tervezési forgalom hatása jelentős lehet, például az autópályák esetében a javasolt bitumen fokozat kiválasztására.

*Köszönetnyilvánítás*



Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## 8. IRODALOMJEGYZÉK

[1]: Leonovich, I. & Melnikova, I. 2011: Pogodno-klimaticheskie usloviia i ikh uchet pri vybore tekhnologii i organizacii dorozhnykh rabot, Trudy BGTU 2: 52–57. (in Russian)

[2]: Leonovich, I., & Melnikova, I. 2012: Influence of Temperature on the Formation of Damages in Asphalt Concrete Pavements under Climatic Conditions of the Republic of Belarus, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 7(1): 42–47. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2012.06>

[3]: Pethő, L. 2008: A hőmérséklet eloszlás alakulása az aszfalt burkolatú pályaszerkezetekben és ennek hatása a pályaszerkezeti rétegek méretezésére, technológiai tervezésére. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

[4]: Bonchenko, A. 1994: Aszfaltobeton: Sdvigoustoichivost i tekhnologiya modifitsirovaniia polimerom. Moskva: Mashinostroenie. 176 p. (in Russian)

[5]: Nunn, M. E. 1989: An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, in Proc. of the 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control. March, 1989, University of Liege, Belgium. 143–153.

[6]: IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

[7]: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

[8]: Jánosi, I. M., Bíró, T., Lakatos, B. O., Gallas, J. A. C. & Szöllösi-Nagy, A: 2023 Changing Water Cycle under a Warming Climate: Tendencies in the Carpathian Basin. *Climate*, 11, 118. <https://doi.org/10.3390/cli11060118>

[9]: Ilona, J., Bartók, B., Dumitrescu, A., Cheval, S., Gandhi, A., Tordai, Á.V. & Weidinger, T. 2022: Using Long-Term Historical Meteorological Data for Climate Change Analysis in the Carpathian Region. *Atmosphere*, 13, 1751. <https://doi.org/10.3390/atmos13111751>

[10]: Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., Marton, A. & Szentes, O. 2021: Megfigyelt éghajlat változások Magyarországon, *Légekör*, 66. évfolyam, 3. szám, ISSN 0 133-3666

[11]: Mátyás, C., Berki, I., Bidló, A., Csóka, G., Czimber, K., Führer, E., Gálos, B., Gribovszki, Z., Illés, G., Hirka, A. & Somogyi, Z. Sustainability of Forest Cover under Climate Change on the Temperate-Continental Xeric Limits. *Forests* 2018, 9, 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>

[12]: H. Q. Tran, Fehér, Zs. Z., Túri, N. & Rakonczai J. 2022: Climate change as an environmental threat on the central plains of the Carpathian Basin based on regional water balances, *Geographica Pannonica*, Volume 26, Issue 3, 184–199, ISSN 1820-7138, <https://doi.org/10.5937/gp26-37271>

[13]: Gálos, B., Führer, E., Czimber, K., Gulyás, K., Bidló, A., Hänsler, A., Jacob, D., Mátyás, CS. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, *IDŐJÁRÁS*, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441

[14]: Gáspár, L. 2007: A klímaváltozás és az útburkolatok. Közúti és mélyépítési szemle. 2007 március, 3. szám: 1-6.

- [15]: Pongrácz, R., Bartholy, J. & Miklós, E. 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9(4), 387-398, [https://doi.org/10.15666/aecer/0904\\_387398](https://doi.org/10.15666/aecer/0904_387398)
- [16]: Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A. & Primusz, P. 2020: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre, *Útügyi Lapok*, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.01>
- [17]: Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, *Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium*, Budapest, p. 82.
- [18]: Mukunde, R. & Ghassan, C. 2020: Determination of Temperature Zoning for the Great Lakes Region of Africa based on Superpave System. 495-501. <https://doi.org/10.29117/cic.2020.0062>
- [19]: Pszczoła, M., Ryś, D. & Jaskula, P. 2017: Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Roads and Bridges*. 16. 245 - 269. <https://doi.org/10.7409/rabdim.017.016>
- [20]: Radziszewski, P., Sarnowski, M., Król, J., Pokorski, P., Jaskula, P., Ryś, D. & Pszczoła, M. 2019: Low-Temperature Requirements for Bitumen in Central East European Road Construction. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 14. 249-270. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.442>
- [21]: Bartholy, J., Bozó L. & Haszpra L. (szerk.) 2011: Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest, p. 281.
- [22]: Tóth, S., Görgényi, Á., Karoliny, M. & Pcuhard, Z. 1997: A SHRP SUPERPAVE szerepe Észak-Amerikában és Európában. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 1999/7-8.
- [23]: Tóth, S. 2001: Hazai útépitési bitumenek minősége (1996-2000). kutatási jelentés, ÁKMI Kht
- [24]: Tóth, S. 1999: The Quality of the Bitumens Produced in Hungary According to the SHRP Specifications. Paper No 067
- [25]: Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, 1995: Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (SP-1)
- [26]: Solaimanian, M. & Bolzan, P. 1993: Analysis of the Integrated Model of Climatic Effects on Pavements. Report No. SHRP-A-637, Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington, D.C.
- [27]: Solaimanian, M. 1994: Development of SHRP Asphalt Research Program Climatic Databases. Report SHRP-A-685, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.
- [28]: The Asphalt Binder Handbook, 2011. Asphalt Institute, Manual Series No. 26 (MS-26),
- [29]: van der Linden, P. & Mitchell, J.F.B. (Eds.) 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
- [30]: Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á. 2013: Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies. International Scientific Conference for PhD Students.
- [31]: Jacob, D., Barring, L., Christensen, O.B., Christensen, J. H., Castro, M., Deue, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sanchez, E., Schar, C., Seneviratne, S.I., Somot, S., Van Ulden, A. & Van Den Hurk, B. 2007: An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Clim Change*, 81:31-52, [https://doi.org/10.1007/s\\_10584-006-9213-4](https://doi.org/10.1007/s_10584-006-9213-4)
- [32]: AASHTOM320-10: Standard Specification for Performance- Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010
- [33]: Herceg, A. 2017: A növényzet vízkörforgalomra gyakorolt hatása a klímaváltozás tükrében, PhD értekezés, Soproni Egyetem, pp. 70
- [34]: Nunn, M. E. 1989: An Investigation of Reflection Cracking in Composite Pavements in the United Kingdom, in Proc. of the 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control., University of Liege, Belgium. 143–153.
- [35]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2020. Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök. 27. 13–19.

[36]: S. Cho, Pethő, L., Tóth, Cs. & Lakatos, É. 2020. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése hőmérséklet profil alapján, 2020, <https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.07>

[37]: S. Cho, Tóth, Cs. & Pethő, L. 2022. Predicting asphalt pavement temperatures as an input for a mechanistic pavement design in Central-European climate, Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Volume 1 – Hoff, Mork & Saba (eds), ISBN 978-1-032-12044-7

[38]: Herceg, A., Tóth, Cs., Primusz, P., Kalicz, P. & Gribovszki, Z. 2022: Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján. *Közlekedéstudományi szemle*, 72 (1). pp. 32-47. ISSN 0023-4362