

# Hazai bitumenek viselkedési fokozatának meghatározása egy soproni tesztparcella meteorológiai adatai alapján

**Herceg András<sup>1</sup> – Tóth Csaba<sup>2</sup> – Primusz Péter<sup>2</sup>  
Kalicz Péter<sup>3</sup> – Gribovszki Zoltán<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Soproni Egyetem, Humán és Természeti Erőforrások Kutató Központ

<sup>2</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék

<sup>3</sup>Soproni Egyetem, Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

e-mail: herceg.andras88@gmail.com, toth.csaba@emk.bme.hu, primusz.

peter@emk.bme.hu, kaliczp@gmail.com, zgribo@gmail.com

Az útpályaszerkezetek a forgalmi terhelés mellett a klimatikus hatásoknak is kitéttek az üzemeltetésük során. Ennek jelentőségét felismerve az USA-ban a múlt század utolsó évtizedében új bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki és integráltak az American Strategic Highway Research Program (SHRP) -ba. Az amerikai eredmények megismerését követően, hazánk már 1995-ben létesített SHRP kötőanyagszabvány szerinti vizsgálatokra alkalmas laboratóriumot, és kezdte meg a bitumenek SHRP megfeleléségi vizsgálatát. Ez az innovatív folyamat azonban megszakadt, jelenleg Magyarországon az útbitumenek osztályozása jellemzően a konvencionális vizsgálati eljárások alapján történik.

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

A bemutatott kutatás egy olyan módszertan eredményeit ismerteti, ahol a kiválasztott soproni vizsgálati cella hőmérsékleti adatait felhasználva nemcsak jelenlegi, hanem a jövőre prognosztizált klimatikus viszonyok is figyelembevételre kerülnek.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.1.3>

## 1. BEVEZETŐ

Az aszfalt pályaszerkezetek élettartamát a forgalmi igénybevétele mellett, a létesítésük helyén fennálló olyan éghajlati és időjárási feltételek (a léghőmérséklet, a sugárzás, a csapadék, a szél, a köd, az ónoseső stb.) is nagyban befolyásolják, amik legtöbbször emberi beavatkozással sem küszöbölhetők ki [20]. A pályaszerkezetek megtervezése során tehát ezek fontos tényezőként veendő figyelembe. Különös tekintettel kell lenni a hőmérséklet és a sugárzás hatására, hiszen az aszfaltkeverékek terheléssel szembeni ellenállása hőmérsékletfüggő [21] [27]. Az aszfalt magas hőmérsékleten (>30 °C) jellemzően elasztoviszko-plasztikus, míg alacsony hőmérsékleten elasztikus tulajdonságot mutat. Nyári csúcshőmérsékletek esetén az aszfalt pályaszerkezetek akár 50-60 °C-ig is felmelegedhetnek, aminek köszönhetően a rétegek deformálódhatnak és keréknyomképződés léphet fel [3]. Télen a lehűlt pályaszerkezetre (<0 °C) a térfogatcsökkenés, a napi hőmérsékletingadozás miatt a repedésképződés jellemző. Megemlítendő még a pályaszerkezet nedvességtartalmának változásából adódó deformáció is, azaz amikor a hőmérséklet gyakran ingadozik 0 °C körül (fagyás-olvadás ciklusok), ami összeségében az aszfaltburkolat tartósságát érinti [21] [26]. A két véglet között, a közepes hőmérsékleti tartományban (5-15 °C) kell csak az aszfaltkeverékek jelentős fáradásával számolnunk [27]. A valós környezeti változásoknak kitett és igénybevétellel terhelt pályaszerkezeteken a hőmérsékletfüggő tönkrementeli formák együttesen, illetve egymás hatását befolyásolva jelennek meg [27].

A felsorolt kedvezőtlen hatások az útpályaszerkezeti hibák megjelenésére vonatkozó vizsgálatok fejlesztését és a valós aszfalt fenntartási feltételek hosszú távú meghatározását indokolják [21]. Kevésbé hangsúlyozott, de kiemelt fontosságú az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utaknál, valamint az agro-erdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál, illetve az erdők feltárhálózatánál a környezeti jellemzőik alaposabb vizsgálata. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben érezteti hatását.

A klimatikus hatások aszfaltrétegekre gyakorolt hatása azonban nem vizsgálható a kötéanyagok viselkedésének tanulmányozása nélkül. Kutatásunk, amelynek legfontosabb eredményeit összefoglaljuk. Az összegezés arra fókuszált, hogy megvizsgálja a magyar klimatikus viszonyoknak megfelelő bitumenfokozatok korabeli meghatározásának korszerűségét, és ellenőrizze 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.

## 2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSAI A PÁLYASZERKEZETEKRE

A klímaváltozás sajátossága, hogy a megváltozó környezeti feltételek visszahatnak a klímaváltozást indukáló gazdasági és társadalmi tevékenységre. Az infrastruktúra éghajlati szempontból való időállósága a kulcskérdés, míg a jelenben zajló tervezéseknél pedig az, hogy a megvalósuló utak pályaszerkezetei mennyire lesznek majd a változó klímahatásokra optimalizáltak. Ezt a kérdést döntően meghatározza, hogy az egyes tervezési paraméterek (egyenletek állandói, zónahatárok, zónákra jellemző faktorok) mennyire aktuálisak és veszik figyelembe az elkövetkező időszakok előrejelzéseit. A klímaszcenáriók ugyanis a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedését prognosztizálják (hőhullámok, a korai és a kései fagyok, a jelentős szélviharok, a nagy intenzitású felhőszakadászerű esőzések és ennek vízelvezetési problémái, valamint a nyári időszakokban fellépő hosszabb aszályos időszakok megjelenése) [2].

Az utakra gyakorolt hőmérsékleti hatásokat elemezve pár fontosabb példát ki kell emelni [2]:

- ♦ Az aszályos időszakok negatív hatással lehetnek a pályaszerkezetekre a szegélyező növényállományok vitalitásán keresztül, ami csökkenti ezáltal a növények szélsőséges-mérséklő hatását.

- ◆ Az egyre forrószódó nyári hónapok fokozott aszfaltkárosodást eredményeznek. A gyakoribb hőségnapok, hőségperiódusok fokozott burkolat-nyomvályúsodást indukálnak, különösen, ha a napi átlaghőmérséklet több, mint három napon keresztül 26°C feletti. A nyári melegedési tendenciára azért érdemes figyelni, mivel az aszfaltkeverékek merevségi modulusai, különösen a plasztikus deformációra való hajlam is kedvezőtlen irányba változik a hőmérséklet emelkedésével. A kapcsolat pl. exponenciális függvénnyel jól leírható [27], így a változás mértéke a hőmérséklet emelkedésével rohamossá válik.
- ◆ A fagypontra körüli hőmérséklet és a gyakrabban változó halmazállapotú csapadék is problémákat okoz az útburkolatokban. A fagy miatti aszfaltrepedésekbe szivárgó víz a kátyúsodást fokozza.
- ◆ A frekvenciátaliban megjelenő fagyás-olvadási ciklusok a kritikus időszakokban a földmű nagyobb fokú elnedvesedését, teherbírás csökkenését eredményezhetik [11].
- ◆ A városokban az aszfaltozott utak, a városok ritkásabb növényzete, az egyre több, nagy ütegfelületekkel rendelkező épület és a hűtésüket szolgáló légkondicionáló használata a klímaváltozás indukálta hőmérsékletemelkedést fokozza. Ez a hatás a városokban még fokozottabb nyomvályúsodáshoz vezethet [28].

A klímaváltozás tehát a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja [12].

### 3. KLIMATIKUS JELLEMZŐK ÉS VÁLTOZÁSUK

#### 3.1. Hőmérséklet és csapadék átlagok múltbeli tendenciái

Magyarország éghajlanttörténetében az elmúlt 30 év hozta a legintenzívebb változást. Leginkább a nyarak átlaghőmérséklete emelkedett, amely az utóbbi 30 évben elérte a 2°C-t [2] [19]. Az éves csapadékmennyiség hazánkban a 20. század elejétől országos mértékben enyhe csökkenést

mutat. Ezen belül a Dunántúlon az országos átlagnál nagyobb mértékű volt a csökkenés [7] [2]). A csapadékoság (főként a nagy csapadékok, valamint a téli összes csapadék) a pályaszerkezet méretezés szempontjából legfőképp a pályaszerkezet alatti talaj teherbírását befolyásolhatja. A szélsőségesen meleg időjárási periódusok az elmúlt 30 évben gyakoribbá váltak [8] [19]. A nyári napok száma (napi max. >25 °C) átlagosan 8 nappal, a hóhullámos napok száma pedig (napi átlag >25 °C) 5 nappal nőtt. A fagyos napok száma (napi min. <0 °C) az általános melegedés révén azonban 10 nappal csökkent [19]. A csapadék időbeli eloszlása is módosult. A csapadékos napok száma csökkent, tehát gyakoribbá váltak az aszályos nyarak [34], úgy, hogy a nyári csapadékontenzitás (az egy csapadékesemény alatt lehulló mennyiség) egyúttal országos átlagban növekedett, de területenként eltérő mértékben [19].

#### 3.2. Hőmérséklet és csapadék átlagainak jövőbeli alakulása

A 21. századi, regionális klímaelőrejelzések egész Európára, egyre fokozódó, minden évszakra kiterjedő felmelegedést prognosztizálnak [5] [15] [16] [17] [22]. A melegedés mértéke 2-5 °C az alkalmazott klíma-modell és emissziós forgatókönyvtől függően. Nemzetközi [40] kutatások alapján a globális átlagnál 2°C-kal jelentősebb melegedéssel kell számolni Európában egy 1971-2000 közötti referencia-időszakkal összehasonlítva (SRES globális klíma-modell A1B klíma forgatókönyv, 25 km-es felbontásra leskalázva). A változások Európaszerte eltérőek, ami konkrétan a globálisnál enyhébb melegedést jelent a nyugati régiókra, ám intenzívebbet Dél-Európára a nyári, illetve Észak- és Kelet-Európára a téli időszakokra vonatkozóan.

Az éves csapadékösszegek szempontjából a 21. század második felére Európában az északi régiók esetén emelkedés, míg a déli térségek esetén csökkenés várható [18]. Ezt a trendet erősíti meg az IPCC 2014-es jelentése is [14] [17] [40]. Magyarországon a hőmérsékletek a 21. század végére akár 3-4 °C-val is magasabbak lehetnek, és a nyarak hőmérséklete emelkedhet a legfőképp [2].

A csapadékösszegben a feltételezhető hazai, jövőbeli változás nem szignifikáns, mivel úgynevezett átmeneti zónában helyezkedik el. Nyáron viszont a század végére minden klímamodell szerint a csapadékmennyiség jelentősebb csökkenése várható, ugyanakkor a telek csapadékosabbá válhatnak [9] [35]. Hazánkra jellemző a szabálytalan csapadékeloszlás, vagyis a heves csapadékesemények és az erős szárazság megjelenése is ugyanolyan valószínűségű [10] [25].

Európában a jövőben megnövekedhet a szélsőséges napi maximum hőmérsékletek és szélsőséges napi csapadékok, így árvizek előfordulása. Európa egész területén gyakoribbá válhatnak a hóhullámok [14].

Magyarországon a napi maximum és minimumhőmérsékletek növekedése várható századunk végére, és gyakoribbá válnak majd a meleg hőmérsékleti szélsőségek (hőség és forró napok), azonban a hideg szélsőségek (téli és fagyos napok) száma csökken [35].

A csapadék időbeli eloszlásának átalakulása prognosztizálható. A század végére a csapadékos napok száma tovább csökken. A nagy csapadékok (20mm<) valószínűsége, a nyarat leszámítva általában növekednek [19], és az ezek következtében megjelenő villámárvizek is gyakoribbá válhatnak, ugyanakkor a hosszabb csapadékmentes periódusok szélsőségeiből aszályokat indukálhatnak [8].

## 4. SHRP BITUMENKUTATÁSI PROGRAM

A sötét felszínű aszfaltburkolat hőmérsékletet akkumuláló sajátossága miatt (aminak oka a kisebb albedó), a lég- és a burkolat hőmérséklet többnyire eltérő. A burkolat hőmérséklete általában tartósan magasabb [4]. Az aszfalthőmérséklet mérések a léghőmérséklet-mérésekhez viszonyítva csak korlátozottan állnak rendelkezésre. A léghőmérséklet-mérések viszont közel teljes országos lefedettséget mutatnak, és lehetőség van ezeknek az aszfalthőmérséklet-becslésre való alkalmazására. A léghőmérséklet jellemzően szezonálisan, havi gyakorisággal használható az aszfalt pályaszerkezetek

hőmérsékletének becslésére. A pillanatnyi aszfalthőmérséklet ugyanis nemcsak a léghőmérséklettől, hanem az ezt megelőző időszak (órák, sőt napok) időjárástól is függ. Ezért nehéz nagy időbeli felbontásban általános érvényű összefüggést adni.

A bitumenek osztályozásához, a pályaszerkezetek tervezési burkolathőmérsékletének meghatározásához kiváló lehetőséget biztosít a léghőmérsékleten alapuló amerikai módszer, amelyet a SHRP bitumenkutatói program keretében dolgoztak ki.

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

Az 1990-es években egy új, az aszfaltkeverékek teljesítménytesztjén alapuló bitumenosztályozási rendszert fejlesztettek ki, amelyet mára a legtöbb USA államban és Kanadában is bevezettek. Ezen vizsgálati módszerek nemcsak az európai szabályozásban jelentek meg, de jelentős kutatásokat végeztek ebben a témában emellett például Pakisztánban, Egyiptomban, Sri Lankán, Ugandában vagy Thaiföldön [24] [29], elsősorban annak érdekében, hogy az amerikai eredményeket az adott ország klimatikus adottságaira és műszaki lehetőségére adaptálják.

Európában, Lengyelországban készült átfogó kutatás, ahol országos szinten, 30 éves periódus klímaadat alapú bitumenosztályozása történt meg [29] [30]. A [21] kutatásokban az amerikai módszer szerinti éghajlati és időjárási feltételek figyelembevétele történt meg Fehéroroszországban, egy 20 éves klímaadatsoron. Az osztályozás itt is [29]-hez hasonlóan több terhelési és az ahhoz kapcsolódó valószínűségi kategóriákat vesz figyelembe.

A „Performance Grade”, vagyis viselkedési fokozat elnevezésű új, bitumenosztályozási rendszer kifejlesztésének az alapcélja az utak minőségének és tartósságának fejlesztése volt, míg koncepciója, hogy a pályaszerkezetekben

levő bitumenkeverékekre vonatkozó teszt típusokat és követelményeket az aktuális, valamint helyi éghajlati és időjárási körülményekhez igazítsák. [37] [39] A Strategic Highway Research Program (SHRP) eredményeként jött létre a viselkedési fokozat alapú osztályozási rendszer, amelyet az USA kongresszusa 1987-ben fogadott el [Superpave Performance]. A kutatás eredménye a Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) keverék-tervezési módszer lett. A bitumenekre vonatkozó előírások létrehozása, az aszfaltok tervezési hőmérsékletének, adott éghajlati zónában való meghatározásával történik, ahol a bitumeneknek specifikus teljesítmény-követelményeknek kell megfelelnie [29] [33].

Megjegyezzük, hogy a Superpave keverék-tervezési módszer ugyan nem teljeskörűen váltotta be az előzetes várakozásokat és aszfaltkeveréktervezés tekintetében a későbbiekben jelentős átdolgozásra szorult, a módszer részét képező bitumenértékelési eljárás elméleti megalapozottsága és gyakorlati alkalmazhatósága vitathatatlan, erre utal széles körű elterjedése. Ismerete nélkül napjaink angolszász keveréktervezési módszerei nem használhatók.

## 5. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 5.1. Viselkedési fokozat (Performance Grade) kialakítása bitumenek esetén

A bitumen viselkedési fokozat meghatározásának és majd osztályozásának alapját, az útpályaszerkezetek napi minimum és a maximum hőmérsékletének meghatározása képezi (PG X-Y).

- Az aszfalt maximum tervezési hőmérséklete az egy éven belüli hét, egymást követő legmelegebb nap átlaghőmérsékletéből kerül meghatározásra. (PG X);
- Az aszfalt minimum tervezési hőmérséklete az egy adott évben mért legalacsonyabb napi minimumhőmérséklet felhasználásával számolható. (PG Y) [29].

A Superpave előírása szerint egy vizsgálati periódus minimum 20, maximum 30 év le-

het. Az aszfalthőmérsékleteket (minimumot és maximumot tehát egyaránt) évenként kell meghatározni [29].

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

1. táblázat: Viselkedési fokozat osztályozása [1]

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 vegyünk egy PG 64-16-ot. Ez esetben egy adott bitumen útpályaszerkezet rétegbe elhelyezett aszfaltkötőréteg rendeltetésszerűen -16 °C-tól, +64 °C-ig alkalmazható, a megadott valószínűségi kategóriában.

Magyarország vonatkozásában a PG besoroláshoz szükséges alapszámításokat a kilencvenes években elsősorban dr. Tóth Sándor és Perlaki Róbertnek köszönhetően elvégezték. Elsődleges számításaik szerint a magyar klimatikus viszonyoknak döntő mértékben (86,7%) a PG 58-28, illetve 13,7%-ban a PG 58-22 besorolás felelt meg. Megjegyezzük, hogy az ekkor használatos B-65 illetve B-80 típusú bitumenek a PG 58-28 követelményszintnek nem voltak képesek megfelelni [31].

1998-ban az időközben a minimális burkolathőmérséklet meghatározására vonatkozó összefüggés kismértékű módosítása miatt a számításokat újra elvégezve, a hazánkban alkalmazandó viselkedési fokozatnak már a PG 58-22 típust javasolták. A kapott eredmény összhangban volt a hasonló szélességi fokon



fekvő észak-amerikai államok esetén választott besorolásokkal is, illetve a közel azonos időszakban végzett osztrák felmérés szerint Ausztriában a SHRP fokozatok 51,6%-a PG 58-28, 16,5%-a pedig a PG 58-22 típushoz tartoztak.

## 5.2. A maximum és a minimum PG hőmérsékletek meghatározásának módszere

A módszer első verziójában csak két valószínűségi szintet alkalmaztak: 50% és 98%. A korabeli magyar számítások 98%-os megbízhatósággal készültek [38], később, a fejlesztés és validálás révén, a 85% és 95% valószínűségi szint is elfogadottá vált. Az 50%-os valószínűség azt jelenti, hogy egy adott maximális vagy minimális léghőmérséklet minden második évben fordulhat elő, míg a 98%-os valószínűség pedig azt, hogy a maximális vagy a minimális léghőmérséklet ötven évente fordulhat elő [29].

A léghőmérsékletekből számolt útpályaszerkezet hőmérsékletek, a pályaszerkezet hőáramának és hőenergia-megmaradásának elméleti modelljén alapulnak. A modell validálása a levegő és az útpályaszerkezetek hőmérsékletének terepi mérésével történt, és erős korrelációt mutatott bár a validálás viszonylag kis számú mérési ponton alapult [31] [32].

A PG hőmérséklet számításának első verziójában nem különítették el aszfaltrétegeket a burkolatban, hanem a teljes burkolatra határoztak meg egy PG-t. A minimális hőmérsékletet a pályaszerkezet felületére, a maximális hőmérsékletet pedig annak felülete alatti 20 mm-es mélységre kell meghatározni [29].

### 5.2.1. Hétnapos maximum hőmérsékletek átlaga

Az egy adott aszfaltréteghez kötött maximum PG hőmérséklet meghatározásra, a következő egyenlettel lehetséges, [23] [36]:

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

Ahol:

$T_{\max}^d$ : Maximumpályaszerkezet-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%.

### 5.2.2. Minimum pályaszerkezet hőmérséklet

A következő egyenlet felhasználásával, egy adott aszfaltrétegben a minimum PG hőmérséklet került meghatározásra, [23] [36]:

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

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 hőmérsékletértékek, mint napi felbontású bemerítési adatok Sopronra, mint kutatási területre eső pixel felhasználásával kerültek letöltésre. 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.).

2. táblázat: Az alkalmazott RCM-ek (Jacob et al., 2007).

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

### 5.3.1. FORESEE (Open Data-base FOR Climate Change-Related Impact Studies in Central Europe)

A léghőmérsékletek beszerzéséhez felhasznált adatbázis a FORESEE, 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 múltira (1951-2019) interpolált megfigyelési (mért) adatok állnak rendelkezésre. Az előrejelzés adatai pedig 2020-2100 között, 10 korrigált regionális klíma-modellre (ENSEMBLES FP6 projekt [22]) érhetők el, A1B üvegházgáz kibocsátási szcenáriót felhasználva [6].

## 6. EREDMÉNYEK

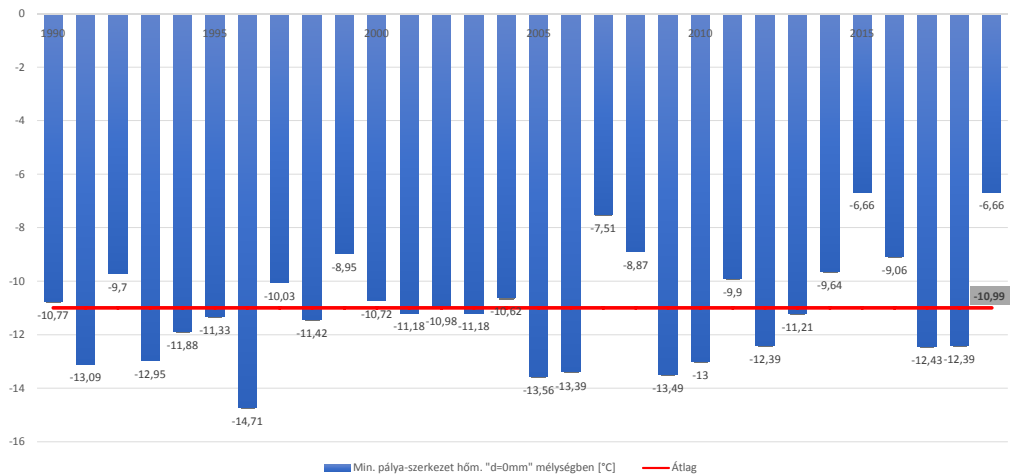
A kutatás eredményeit a 3., 4. és 5. táblázat, valamint az 1.-6. ábra összegzi éves lebontásban. A táblázatok végén, valamint a grafikonokon vonal formájában a 30 éves vizsgálati időszakra történő átlagolások találhatóak.

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=50%-ot vettünk, amiből z=0 következik, vagyis az utolsó tag értéke is 0.

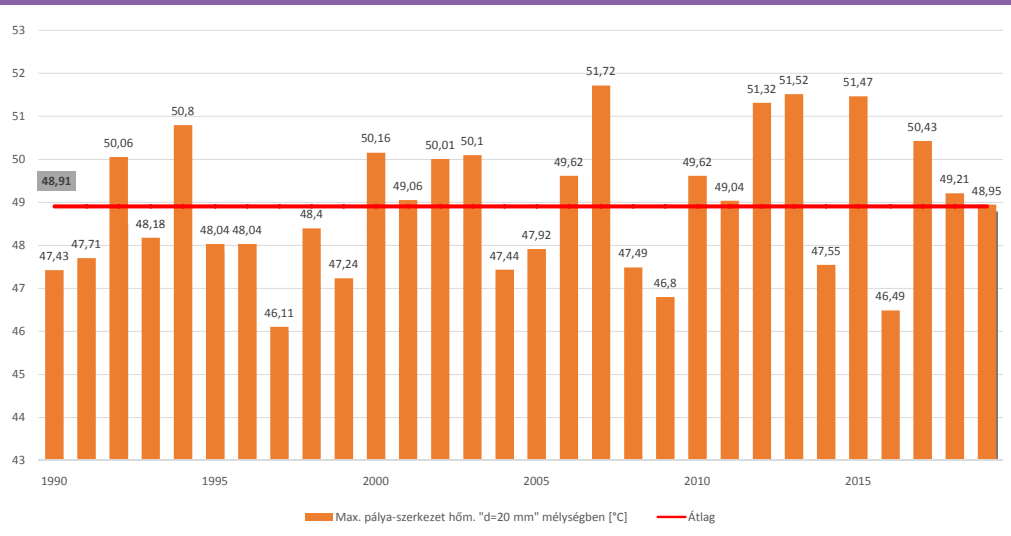
3. táblázat: Az 1990-2020-as vizsgálati időszak, mért adatokra alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Min. pályaszerkezet-hőm. „d” mélységben [°C]
-10,77
-13,09
-9,7
-12,95
-11,88
-11,33
-14,71
-10,03
-11,42
-8,95
-10,72
-11,18
-10,98
-11,18
-10,62
-13,56
-13,39
-7,51
-8,87
-13,49
-13
-9,9
-12,39
-11,21
-9,64
-6,66
-9,06
-12,43
-12,39
-6,66
<b>-10,99 (2,03)</b>

1. ábra: Minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek a burkolat felszínén (d=0 mm mélységben) (1990-2020).



2. ábra: Maximum pályaszerkezet-hőmérsékletek "20 mm" mélységben (1990-2020).

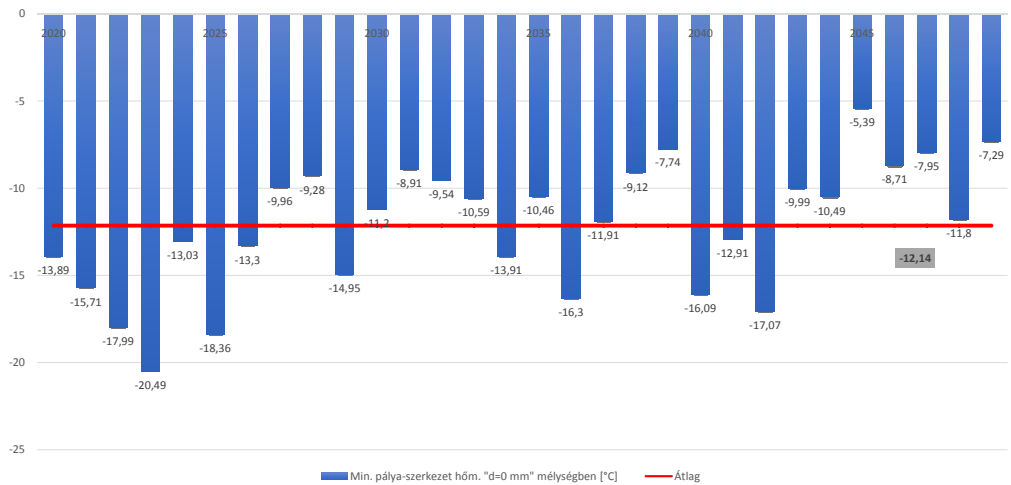




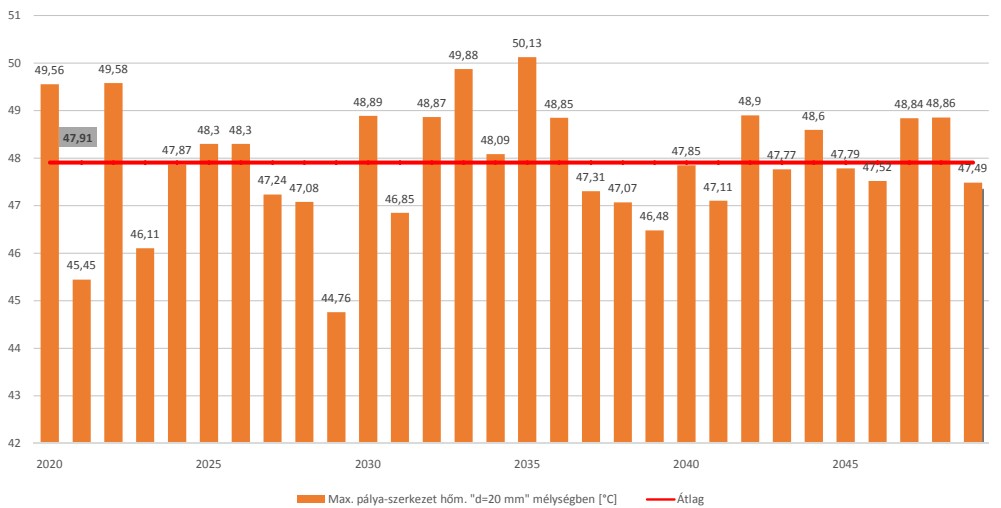
4. táblázat: Az 2020-2050-as vizsgálati időszak REMO klímamodellre alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezetmélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.

Év	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]
2020	33,28	49,56	-16,64	-13,89
2021	28,01	45,45	-19,17	-15,71
2022	33,3	49,58	-22,33	-17,99
2023	28,85	46,11	-25,81	-20,49
2024	31,11	47,87	-15,44	-13,03
2025	31,67	48,3	-22,84	-18,36
2026	31,67	48,3	-15,82	-13,3
2027	30,3	47,24	-11,18	-9,96
2028	30,1	47,08	-10,23	-9,28
2029	27,13	44,76	-18,11	-14,95
2030	32,43	48,89	-12,9	-11,2
2031	29,8	46,85	-9,72	-8,91
2032	32,4	48,87	-10,59	-9,54
2033	33,69	49,88	-12,06	-10,59
2034	31,4	48,09	-16,66	-13,91
2035	34,02	50,13	-11,87	-10,46
2036	32,37	48,85	-19,99	-16,3
2037	30,4	47,31	-13,89	-11,91
2038	30,09	47,07	-10,01	-9,12
2039	29,33	46,48	-8,1	-7,74
2040	31,09	47,85	-19,69	-16,09
2041	30,14	47,11	-15,28	-12,91
2042	32,43	48,9	-21,06	-17,07
2043	30,98	47,77	-11,22	-9,99
2044	32,05	48,6	-11,91	-10,49
2045	31,01	47,79	-4,83	-5,39
2046	30,67	47,52	-9,44	-8,71
2047	32,36	48,84	-8,38	-7,95
2048	32,39	48,86	-13,74	-11,8
2049	30,63	47,49	-7,47	-7,29
<b>Átlag</b>	<b>31,17 (1,62)</b>	<b>47,91 (1,26)</b>	<b>-14,21 (5,16)</b>	<b>-12,14 (3,72)</b>

3. ábra: Minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek a burkolat felszínén (d=0 mm mélységben) (2020-2050).



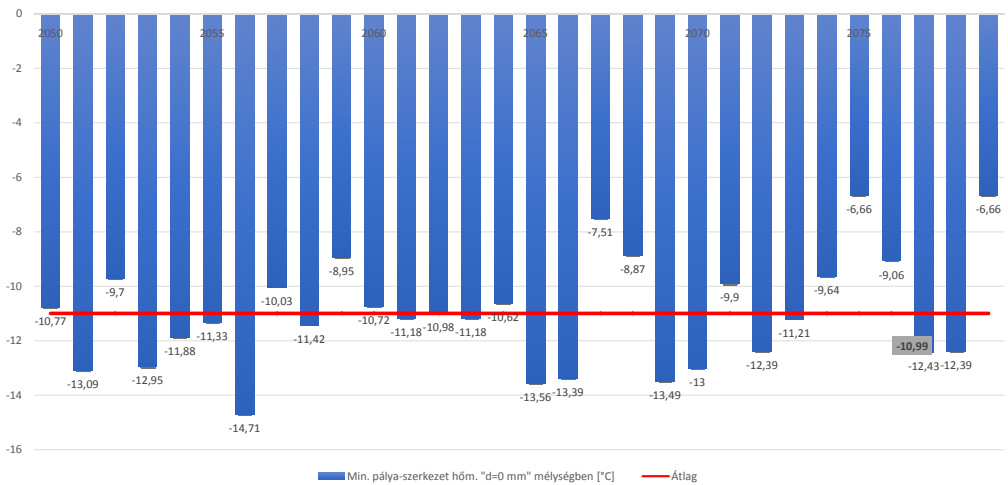
4. ábra: Maximum pályaszerkezet-hőmérsékletek "20 mm" mélységben (2020-2050).



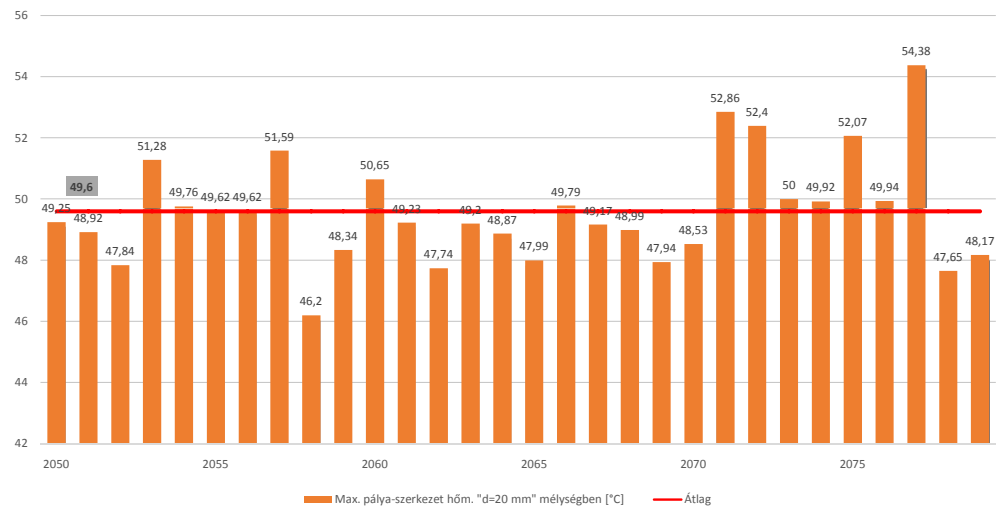
**5. táblázat: Az 2050-2080-as vizsgálati időszak REMO klímamodellre alapozott eredményei. A hét egymást követő legmagasabb napi maximumhőmérsékletek; A maximum pályaszerkezetmélységek "d" mélységben; A napi minimum léghőmérsékletekből számolt átlag; A minimum pályaszerkezet-hőmérséklet "d" mélységben.**

Év	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]
2050	32,88	49,25	-12,31	-10,77
2051	32,47	48,92	-15,52	-13,09
2052	31,07	47,84	-10,82	-9,7
2053	35,49	51,28	-15,33	-12,95
2054	33,54	49,76	-13,85	-11,88
2055	33,35	49,62	-13,08	-11,33
2056	33,35	49,62	-17,78	-14,71
2057	35,89	51,59	-11,27	-10,03
2058	28,97	46,2	-13,21	-11,42
2059	31,72	48,34	-9,78	-8,95
2060	34,67	50,65	-12,24	-10,72
2061	32,86	49,23	-12,87	-11,18
2062	30,94	47,74	-12,6	-10,98
2063	32,81	49,2	-12,87	-11,18
2064	32,4	48,87	-12,09	-10,62
2065	31,27	47,99	-16,18	-13,56
2066	33,57	49,79	-15,94	-13,39
2067	32,79	49,17	-7,77	-7,51
2068	32,55	48,99	-9,67	-8,87
2069	31,2	47,94	-16,08	-13,49
2070	31,96	48,53	-15,4	-13
2071	37,51	52,86	-11,09	-9,9
2072	36,92	52,4	-14,55	-12,39
2073	33,85	50	-12,91	-11,21
2074	33,74	49,92	-10,74	-9,64
2075	36,5	52,07	-6,59	-6,66
2076	33,77	49,94	-9,93	-9,06
2077	39,46	54,38	-14,61	-12,43
2078	30,83	47,65	-14,55	-12,39
2079	31,5	48,17	-6,6	-6,66
<b>Átlag</b>	<b>33,33 (2,26)</b>	<b>49,60 (1,76)</b>	<b>-12,61 (4,10)</b>	<b>-10,99 (2,95)</b>

5. ábra: Minimum pályaszerkezet-hőmérsékletek a burkolat felszínén (d=0 mm mélységben) (2050-2080).



6. ábra: Maximum pályaszerkezet-hőmérsékletek "20 mm" mélységben (2050-2080).



Az 1. táblázatban közölt kategóriák alapján [1], az 1990-2020, és 2020-2050 időszak eredményei, a PG 52-16-os kategóriába sorolható. Ami azt jelenti, hogy ez esetben valamely útpályaszerkezeti rétegbe épített, adott bitumenes kötőanyagú aszfaltkeverék rendelkezésszerűen -16 °C-tól, +52 °C-ig használható a kutatás esetében alkalmazott 50%-os valószínűségi kategóriában.

A harmadik vizsgálati időszakban (2050-2080) azonban a besorolás a PG 52-10-es kategóriába esik, aminek tehát az enyhülő téli minimumhőmérséklet az oka.

Az első két vizsgálati időszakban kapott eredmények hasonlóságának az oka, hogy a hőmérsékletadatokban a század közepéig alapvetően stagnálás tapasztalható [13].

## 7. KONKLÚZIÓ

A kapott eredmények eltérnek a témában közlél 30 éve publikált első hazai eredményektől. A tervezéshez használt maximális burkolathőmérséklet fokozata a korábbi 58-as fokozattal szemben mind a három scenárió esetén egy kategóriával kisebb, 52. Az eltérést elsősorban a számításokhoz választott megbízhatósági szint okozza, mivel a korábbi számítások 98 %-os, a jelenlegi eredmények 50%-os valószínűségi szinten történtek. Az eltérésnek nagyobb gyakorlati jelentőséget nem tulajdonítunk, a valószínűségi szint rögzítése a mindenkorai útügyi adminisztráció kockázatvállalásának függvénye. Megnyugtató eredmény azonban, hogy a klímaváltozásnak köszönhetően a várható hőmérsékletemelkedés mértéke nem érinti a tervezési felső burkolathőmérsékletet, amely mindhárom scenárió esetén változatlan maradt.

A minimális burkolathőmérséklet értékek szintén eltérnek a korábbi eredményektől. A kapott fokozatok (16 és 10) jelentős csökkenés a korábbi 28 és 22 értékekhez képest. Ezt a változást az eltérő megbízhatósági szint választás mellett, már a klimatikus változások is magyarázzák.

A FORESEE adatbázisból lekérdezett klímadatok felhasználásával, a Superpave módszerrel számolt aszfalthőmérsékletek révén tehát a bitumen alapú kötőanyagok a kiválasztott soproni mintaterület éghajlati viszonyait figyelembe véve töltik be rendeltetésüket.

A három 30 éves vizsgált periódus (1990-2020, 2020-2050, 2050-2080) eredményeit felhasználva az első két időszak pályaszerkezet-hőmérsékletei alapján azok a PG 52-16, míg a harmadik a PG 52-10-es viselkedési fokozatba esnek. Lényeges azonban, hogy a közöltek egy országos léptékű viselkedébesorolást megcélzó kutatás legelső lépései, így az eredmények e tények tükrében kezelendők.

A kutatásnak az ország egész területére történő kiterjesztését és a kilencvenes évekbeli eredmények felülvizsgálatát az is indokolja, hogy az eredeti módszer továbbfejlesztésre került és a PG alapértekeit korrigálni kell a tervezési forgalom nagyságának, illetve átlagsebességének értékével. Ezen paraméterek figyelembevételére eddig még hazánkban nem került sor, noha a tervezési forgalom hatása jelentősen befolyásolhatja, pl. autópályák esetén a javasolt bitumen fokozat kiválasztását.

Örömmel írunk továbbá arról, hogy az amerikai módszer hazai adaptálhatóságának vizsgálata közvetlenül megteremtí a magyarországi bitumen-minősítési és aszfaltburkolat-méretezési előírások esetleges, a klímaváltozási hatásokat is figyelembe vevő nemzetközi tapasztalatokhoz illeszkedő korszerűsítési lehetőségét, sajnos azonban a lemaradásunk ezen a területen olyan jelentős, hogy ez csak szükséges, de messze nem elégséges lépés a felzárkózás indokolt, de már két évtizede elodázott folyamatában.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és az Agrárminisztérium támogatásával készült.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AASHTOM320-10: Standard Specification for Performance- Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010
- [2] 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.
- [3] Bonchenko, A. 1994. Asfaltobeton: Sdvigoustoichivost i tekhnologiiia modifitsirovaniia polimerom. Moskva: Mashinostroenie. 176 p. (in Russian)
- [4] Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest, p. 82.
- [5] Christensen, J. H. & Christensen, O.B. 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change* 81:7–30, HYPERLINK "about:blank" DOI: <https://doi.org/fwn566>
- [6] 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.
- [7] Gálos, B. & Vig, P. 2014: Éghajlati tendenciák a Kárpát medencében és Zala megyében. In: Bidló A., Király A., Mátyás Cs. (szerk.) *Agrárklíma: Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetősége*, Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2014. 7-16. (ISBN:978-963-334-204-6)
- [8] Gálos, B., Lorenz, Ph. & Jacob, D. 2007: Will dry events occur more often in Hungary in the future? *Environ. Res. Lett.*, 2, 034006 (9pp), DOI: <https://doi.org/d3z7mm>
- [9] Gálos, B., Antal V., Czímber, K. & Mátyás, Cs. 2014: Forest ecosystems, sewage works and droughts – possibilities for climate change adaptation. In: Santamarta J.C., Hernandez-Gutiérrez L.E., Arraiza M.P. (eds) 2014. *Natural Hazards and Climate Change/Riesgos Naturales y Cambio Climático*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Montes. ISBN 978-84-617-1060-7, D.L. TF 565-2014, 91-104, DOI: <https://doi.org/hb7q>
- [10] Gálos, B., Führer, E., Czímber, K., Gulyás, K., Bidló, A., Häsler, A., Jacob, D., Mátyás, Cs. (2015): Climatic threats determining future adaptive forest management – a case study of Zala County, *IDOJÁRÁS, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* Vol. 119, No. 4, October – December, 2015, pp. 425–441
- [11] Gáspár, L. 2007: A klímaváltozás és az útburkolatok. *Közúti és mélyépítési szemle*. 2007 március, 3. szám: 1-6.
- [12] Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A., Primusz, P. 2020: A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre, *Útügyi Lapok*, DOI: <https://doi.org/ggtz2t>
- [13] Herceg, A. 2017: A növényzet vízkörforgalomra gyakorolt hatása a klímaváltozás tükrében, PhD értekezés, Soproni Egyetem, pp. 70
- [14] IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- [15] 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, DOI: <https://doi.org/d5wk5h>
- [16] Jacob, D., Kotova, L., Lorenz, P., Moseley, C. & Pfeifer, S. 2008: Regional climate modeling activities in relation to the CLAVIER project. *Időjárás* 112: 141–153.
- [17] Jacob, D., et 38 coauthors EURO-CORDEX 2014: newhigh-resolution climate change projections for European impact research, *RegEnvironChange*, DOI: <https://doi.org/f9sfkm>



- [18] Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G. & Ullerstig, A. 2011: 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. *Tellus* 63A, 24–40.
- [19] Lakatos, M., Szépszó, G., Bihari, Z., Krüzselyi, I., Szabó, P., Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I. & Torma, CS. (szerk.) 2012: HREX jelentés: Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: Közel múlt és jövő. [http://www.met.hu/doc/IPCC\\_jelentes/HREX\\_jelentes-2012.pdf](http://www.met.hu/doc/IPCC_jelentes/HREX_jelentes-2012.pdf) [Climate extreme changes in Hungary: recent past and future] (in Hungarian)
- [20] Leonovich, I.; Melnikova, I. 2011: Pogodno-klimaticheskie usloviia i ikh uchety pri vybore tekhnologii i organizacii dorozhnykh rabot, *Trudy BGTU* 2: 52–57. (in Russian)
- [21] 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. DOI: <https://doi.org/hb7r>
- [22] 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.
- [23] LTPP Data Analysis: Improved Low Pavement Temperature Prediction. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-97-104, 1998
- [24] Mukunde, R. & Ghassan, C. 2020: Determination of Temperature Zoning for the Great Lakes Region of Africa based on Superpave System. 495-501. DOI: <https://doi.org/hb7s>
- [25] Nováky, B. & Bálint, G. 2013: Shifts and Modification of the Hydrological Regime Under Climate Change in Hungary; DOI: <https://doi.org/hb7t>
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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, DOI: <https://doi.org/hb7v>
- [29] Pszczoła, Marek & Ryś, Dawid & Jaskula, Piotr. 2017: Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Roads and Bridges*. 16. 245 - 269. DOI: <https://doi.org/gfxb58>
- [30] 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. DOI: <https://doi.org/gmq33>
- [31] 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.
- [32] Solaimanian M.: Development of SHRP Asphalt Research Program Climatic Databases. Report SHRP-A-685, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994
- [33] Superpave Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute, Superpave Series No. 1 (SP-1), 1995
- [34] Szalai, S. & Mika, J. 2007: A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. In Mátyás Cs., Vig P. (szerk). *Erdő és klíma V*. Sopron.
- [35] Szépszó, G. 2008: Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project, *Időjárás* 112 265–83.
- [36] *The Asphalt Binder Handbook*. Asphalt Institute, Manual Series No. 26 (MS-26), 2011

- [37] Tóth, S., Görgényi, Á., Karoliny, M. & Pcuhard, Z. 1997: A SHRP SUPERPAVE szerepe Észak-Amerikában és Európában. Közúti és Mélyépítési Szemle, 1999/7-8.
- [38] Tóth, S. 2001: Hazai útépítési bitumenek minősége (1996-2000). kutatási jelentés, ÁKMI Kht
- [39] Tóth, S. 1999: The Quality of the Bitumens Produced in Hungary According to the SHRP Specifications. Paper No 067
- [40] Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D. et 25 coauthors 2013: 41: 2555, DOI: <https://doi.org/f5f3z4>



## Determination of the degree of behaviour of domestic bitumens based on meteorological data of a test plot in Sopron

In addition to traffic load, road structures are also exposed to climatic effects during their operation. Recognizing the importance of this, a new paving bitumen grading system was developed and integrated into the American Strategic Highway Research Program (SHRP) in the U.S. in the last decade of the last century. After learning about the American results, Hungary established a laboratory suitable for testing according to the SHRP binder standard already in 1995, and started the SHRP compliance testing of paving bitumens. However, this innovative process has been interrupted, and currently the classification of paving bitumens in Hungary is typically based on conventional testing procedures.

The key parameter of the behaviour-based binder standard is the recording of the performance grades (PG X-Y). Although this took place in the 1990s after the processing of the Hungarian climatic data, it needs to be updated now.

The research described here presents the results of a methodology where, using the temperature data of the selected Sopron test cell, not only current climate conditions but also those predicted for the future are taken into account.



## Bestimmung des Verhaltensgrades von ungarischen Bitumen auf Grund meteorologischer Daten einer Testparzelle in Sopron

Neben der Verkehrsbelastung sind Straßenbauwerke in ihrem Betrieb auch klimatischen Einflüssen ausgesetzt. Nach der Erkennung der Bedeutung von diesen Einflüssen wurde im letzten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts ein neues Bitumen-Klassifizierungssystem entwickelt und in das American Strategic Highway Research Program (SHRP) integriert. Nachdem die ungarischen Experten auf die amerikanischen Ergebnisse aufmerksam wurden, es wurde in Ungarn 1995 ein für die Prüfung nach dem SHRP-Binderstandard geeignetes Labor eingerichtet und es wurde mit der SHRP-Konformitätsprüfung von Bitumen begonnen. Dieser innovative Prozess wurde jedoch unterbrochen, derzeit basiert die Klassifizierung von Straßenbitumen in Ungarn typischerweise auf herkömmlichen Prüfverfahren.

Zentraler Parameter des verhaltensbasierten Bindemittelstandards ist die Erfassung der Verhaltensklassen (PG X-Y), die in den 1990er Jahren nach der Verarbeitung der ungarischen Klimadaten durchgeführt wurde, sie muss aber jetzt aktualisiert werden. Die hier beschriebene Forschung präsentiert die Ergebnisse einer Methodik, bei der mit Hilfe der Temperaturdaten der ausgewählten Sopron-Testzelle nicht nur die aktuellen, sondern auch die für die Zukunft prognostizierten Klimabedingungen berücksichtigt werden.