



A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre

**Gribovszki Zoltán¹, Kalicz Péter¹, Herceg András¹,
Primusz Péter¹**

¹ Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar a Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet

E-mail: zgribo@gmail.com; kaliczp@gmail.com; herceg.andras@uni-sopron.hu; primusz.peter@uni-sopron.hu

DOI: [10.36246/UL.2020.1.01](https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.01)

KIVONAT

A környezeti jellemzők (elsősorban a hőmérséklet, a csapadék, a légnedvesség, a fagyás-olvadás ciklusok és a talajvíz mélysége) jelentős hatást gyakorolnak az útburkolatok állapotára és élettartamára tehát a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként vehetők figyelembe.

Az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek tartósságának számításánál, az egyszerűen meghatározható és általában könnyen elérhető meteorológiai paraméterek közül, a hőmérséklet, ennek ingadozása és a csapadék a figyelembe vehető. Bár a hőmérséklettől függő aszfalt merevségi modulust a tényleges, reálisan várható aszfalthőmérséklet alapján célszerű felvenni. Viszont ezen mérések csak korlátozott számban állnak rendelkezésre, a léghőmérséklet mérések viszont igen jól lefedik az országot ezért felhasználhatóak az aszfalthőmérsékletek becslésére (elsősorban szezonálisan, havi gyakorisággal).

Jelen cikk a léghőmérséklet és a csapadék általános változási tendenciáit mutatja be és hasonlítja össze Magyarországon három vizsgálati időszakra: 1951-1980; 1981-2010; 2016-2045.

Kulcsszavak: alacsony pályaszerkezet méretezés, klímaváltozás, klimatikus jellemzők, hőmérséklet, csapadék

ABSTRACT

Environmental parameters (primarily temperature, precipitation, air humidity, freeze-thaw cycles and groundwater depth) have a significant impact on the condition and lifespan of pavements, therefore they can be taken into account as critical factors during pavement design methods.

In calculating the durability of asphalt pavements, temperature, fluctuations of temperature, and precipitation can be taken into account, which are generally available meteorological parameters. Although the temperature-dependent asphalt stiffness modulus should be determined based on the actual, realistic expected asphalt temperature. However, these measurements are only available in a limited number, instead of air temperature measurements that cover the country very well and nevertheless can be used to estimate asphalt temperatures (mainly seasonally, on a monthly basis).

This paper presents and compares general trends of changes in air temperature and precipitation in Hungary for three investigational periods: 1951-1980; 1981-2010; 2016-2045.

Keywords: pavement design, climate change, climatic parameters, temperature, precipitation

Prof. Dr. Gribovszki Zoltán

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe az öko-hidrológia, evapotranszpiráció számítása a talajnedvesség, a talajvíz és a lefolyás nagy gyakoriságú mérése alapján.

Dr. Kalicz Péter

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Geomatikai, Erdőfeltárási és Vizgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a hidrológiai modellezés, intercepció automatizálása.

Dr. Herceg András

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

Dr. Primusz Péter

A Soproni Egyetem (SOE) Erdőmérnöki Karán a Geomatikai, Erdőfeltárási és Vizgazdálkodási Intézet munkatársa. Fő kutatási területe az útfenntartás és az útpályaszerkezetek méretezése, megerősítése.

1. BEVEZETÉS

A környezeti jellemzők jelentős hatást gyakorolnak az útburkolatokra így a pályaszerkezetek méretezésénél is fontos tényezőként vehetők figyelembe. A környezeti jellemzők közül a hőmérséklet, a csapadék, a légnedvesség, a fagyás-olvadás ciklusok és a talajvíz mélysége befolyásolják leginkább az útburkolatok állapotát és élettartamát. Különösen fontos a környezeti jellemzők alaposabb vizsgálata az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági utaknál, illetve az erdők feltáráshálózatánál valamint az agroerdészeti rendszerek kiszolgáló útjainál. Ezeknél az úthálózatoknál az időjárásnak való kitettség a vékonyabb pályaszerkezet miatt erőteljesebben is érezteti hatását.

Minden klimatikus jellemző szezonális változékonysággal bír, tehát célszerű a pályaszerkezet méretezését is ezekhez a szezonális változásokhoz kapcsolni (Gupta, 2014). A hajlékony pályaszerkezetek méretezésénél három fő környezeti jellemző változását célszerű figyelembe venni:

- Az aszfalt rétegek hőmérsékletének változásai. Ez a paraméter azért lényeges, mert az aszfaltkeverékek modulusai nagyon érzékenyek a hőmérsékletváltozásra. A burkolatfelszín és a mélyebb rétegek hőmérséklete különböző termodinamikai, fizikai és meteorológiai folyamatok eredménye. Ezen folyamatok ismerete és vizsgálatokon alapuló megértése nagyon fontos ahhoz, hogy információkat nyerjünk pályaszerkezetünk hőmérséklet viselkedéséről (Ureczky & Tóth, 2008).
- Az alsó rétegek (elsősorban a földmű) talajnedvességének változásai. A földmű modulusok általában az optimális talajnedvességre és sűrűsége (tömörségre) vonatkoznak. Sok esetben viszont az optimálistól eltérő jellemzőkre korrekciós faktorok szükségesek.
- A fagyás olvadás jelensége és ennek ciklusai igen jelentősen befolyásolják az alsó rétegek és a földmű teherbírását. Hiszen a fagyos periódusok alatt a földmű teherbírása nő, míg az olvadási periódusok alatt jelentősen csökken, tehát a fagyás mélységének és az egyes olvadási ciklusok egymásra következésének ismerete is egy fontos kérdés.

Az előbbieket szerint tehát az aszfaltburkolatú pályaszerkezetek tartósságának számításánál, az egyszerűen meghatározható és általában könnyen elérhető meteorológiai paraméterek közül, a hőmérséklet, ennek ingadozása és a csapadék a figyelembe vehető tényezők (Boromissza, 1997). Jelen cikk e két paraméter általános változási tendenciáit mutatja be Magyarországon.

2. A HŐMÉRSÉKLET ÉS CSAPADÉK

Az aszfaltkeverékek terheléssel szembeni ellenállása tehát hőmérsékletfüggő. Jelenleg három jellegzetes hőmérséklet tartományhoz rendelik a tönkremeneteli formákat (Pethő, 2008):

- alacsony hőmérsékleti tartomány (<0 Celsius), repedésképződés az aszfaltburkolatban;
- közepes hőmérsékleti tartomány (5-15 Celsius), az aszfaltkeverékek fáradása;

- magas hőmérsékleti tartomány (>30 Celsius), plasztikus deformációs hajlam (keréknyomképződés).

A valós környezeti változásoknak kitett és igénybevétellel terhelt pályaszerkezeteken az előbbieken felsorolt tönkremeneteli formák együttesen, illetve egymásra hatást gyakorolva jelennek meg (Pethő, 2008).

A magas hőmérséklet hatása a következő. A sötét felszínű aszfaltburkolat, a kisebb albedója miatt, a hőmérsékletet általában akkumulálja. A léghőmérséklet és a burkolat hőmérséklet általában nem azonos. A burkolat hőmérséklete általában magasabb, sőt tartósan magasabb. A hőmérséklettől függő aszfalt merevségi modulus tehát nem a léghőmérséklet, hanem a tényleges, reálisan várható aszfalthőmérséklet alapján célszerű felvenni (Boromissza, 1997). Mivel azonban az aszfalthőmérsékletek mérések csak korlátozott számban állnak rendelkezésre, a léghőmérséklet mérések viszont igen jól lefedik az országot ezért felhasználhatóak az aszfalthőmérsékletek becslésére. A léghőmérséklet, mint egyetlen paraméter azonban inkább szezonálisan, havi gyakorisággal használható az aszfalt pályaszerkezetek hőmérsékletének becslésére. A pillanatnyi aszfalthőmérséklet ugyanis nemcsak a léghőmérséklettől, hanem az ezt megelőző időszak (órák, sőt napok) időjárásától is függ. Ezért nehéz nagy időbeli felbontásban általános érvényű összefüggést adni.

A hőmérsékletfüggő aszfaltmodulus befolyásolja a talajra jutó feszültséget, tehát közvetve az egész pályaszerkezet teherbírását is. Érdemes kiemelni, hogy az összefüggés exponenciális, így a magasabb hőmérsékleti kategóriákban a hatás hatványozott (Pethő, 2008). Hazai viszonyok között az 50 Celsius fokos aszfalthőmérsékletek sem ritkák (Boromissza 1997), amelyek mellett a modulus értéke igen jelentősen megváltozik. A hatás egyébiránt a klímaváltozás kapcsán még jelentősebb lehet.

Az alacsony hőmérsékletek esetén a pályaszerkezet méretezést jelentősen befolyásolja a talajfagy mélysége és tartóssága. Az aszfaltburkolat tartósságára pedig a fagyás-olvadás ciklusok száma és a napi hőmérsékletingadozás gyakorol jelentősebb hatást.

A csapadék mennyisége főként az elnedvesedésén keresztül elsősorban a talaj teherbírását befolyásolja. Mivel a vegetációs időszakban a párolgás igen jelentős mértékű (általában meghaladja a csapadékot), ezért az éves csapadékmennyiség mellett a téli félév csapadékát is célszerű meghatározni. A magyar pályaszerkezet méretezési utasítás a 600 mm feletti átlagos csapadékú vidékeket „kedvezőtlennek” minősíti, és ezt a teherbírásnál is figyelembe veszi.

3. A KLÍMAVÁLTOZÁS UTAKRA VALÓ LEHETSÉGES HATÁSAI

Az éghajlatváltozás sajátos jellemzője, hogy a megváltozó környezeti feltételek visszahatnak a klímaváltozást elsősorban indukáló társadalmi gazdasági tevékenységre. A következmények megjelenhetnek útjaink állapotában is. Különösen lényeges a kérdés az alsóbbrendű vagy mezőgazdasági, ill. erdészeti utak esetében, amelyek a környezeti jellemzőkre, különösen a földmű nedvességtartalmával kapcsolatos változásokra érzékenyebbek.

Fontos kérdés, hogy infrastruktúránk éghajlati szempontból mennyire időálló. A jelenben zajló tervezések szempontjából pedig meghatározó kérdés, hogy a tervek során kivitelezett utak pályaszerkezetei mennyire állják ki majd a változó klíma hatásait. Ezt a kérdést alapvetően meghatározza, hogy a tervezés során figyelembe vett tervezési paraméterek (egyenletek állandói, zónahatárok, zónákra jellemző faktorok) mennyire aktuálisak, és mennyire tekintenek esetleg előre az elkövetkező időszak jellemzőit is figyelembe véve. Az előrejelzések szerint ugyanis a klimatikus jellemzők változása valószínűleg a szélsőséges időjárási események gyakoriságának növekedése (Bartholy et al., 2011). A legfontosabb befolyásoló események példaként a hóhullámok, a korai és a kései fagyok, a jelentős szélviharok, a nagy intenzitású felhőszakadásszerű esőzések és ennek vízelvezetési problémái, valamint a nyári időszakokban fellépő hosszabb aszályos időszakok megjelenése (Bartholy et al., 2011).

Az utakra való hatásokat elemezve néhány példát érdemes kiemelni:

- A rövid idő alatt lehulló, nagy intenzitású csapadékok alámoshatják a közúti töltéseket, partfalakat (Bartholy et al., 2011). Az útpályaszerkezetek gyors tönkremenetelét okozhatja,

ha azok az „alulról jövő víz” (talajvíz, belvíz vagy árvíz) hatása alá kerülnek. Kiemelten problémás a helyzet akkor, ha a földművet nem szemcsés talajból (pl. homok) építették (Gáspár, 2007). Óriási jelentőségű tehát az utak megfelelő vízevezetési rendszere.

- A tartós aszály a kedvezőtlenebb talajadottságú területeken okozhat állékonyságromlást (földmű/részű összerepedezése).
- Az aszályos időszakok kedvezőtlenül érinthetik az utakat, autópályákat szegélyező növényállományok vitalitását, csökkentve ezáltal a növények szélsőségeket mérséklő hatását. Így a kedvezőtlen hatások még erőteljesebben megjelenhetnek a pályaszerkezetekben (Bartholy et al., 2011).
- Az egyre forrószodó nyári hónapokban fokozott aszfaltkárosodásra számíthatunk. A gyakrabban megjelenő hőségnapok, hőségperiódusok a burkolat nyomvályúsodásának erősödéséhez vezethetnek. Ez a hatás különösen fokozott lehet, ha a napi átlaghőmérséklet legalább három napon keresztül nem süllyed 26 Celsius fok alá (Bartholy et al., 2011).
- A fagypont körüli hőmérséklet és a gyakrabban változó halmazállapotú csapadék is kedvezőtlenül befolyásolhatja az útburkolatok állagát. A fagy hatására megnyíló repedéseken keresztül az aszfaltrepedésekbe szivárgó víz a kátyúsodás erősödéséhez vezethet, hiszen a fagypont alatti és fölötti hőmérsékletek gyorsabban váltogatják majd egymást (Bartholy et al., 2011).
- A gyakoribbá váló fagyás felengedés ciklusok a kritikus időszakokban a földmű fokozottabb elnedvesedéséhez így teherbírás csökkenéséhez vezethetnek (Gáspár, 2007).
- A városokban az aszfaltozott utak, a városok ritkásabb növényzete, az egyre sokasodó nagy üvegfelületekkel rendelkező épületek, és az ezek hűtését szolgáló légkondicionálók használata erősíti majd a klímaváltozás indukálta hőmérsékletemelkedést (Pongrácz et al., 2006). Ez a hatás tehát a városi területeken a még fokozottabb nyomvályúsodáshoz vezethet.

Az előbbieket összefoglalva megállapítható, hogy a klímaváltozás a megváltozó környezeti jellemzők miatt a pályaszerkezetek tervezési paramétereinek, esetleg magának a tervezési elveknek a módosítását indukálja.

4. KLIMATIKUS JELLEMZŐK ÉS VÁLTOZÁSUK

4.1. MÚLTBELI TENDENCIÁK AZ ÉGHAJLATBAN

4.1.1. A HŐMÉRSÉKLET ÉS CSAPADÉK ÁTLAGOK ÁLTALÁNOS TENDENCIÁI

A műszeres mérések kezdet óta az elmúlt 30 évben mutatta Magyarország éghajlata a legintenzívebb változást.

Az évszakok közül a nyarak átlaghőmérséklete emelkedett a leginkább, mértéke az utóbbi 30 évben elérte a 2 Celsius fokot (Bartholy et al., 2011; Lakatos et al., 2012). A nyári melegedési tendenciára azért is érdemes figyelni, mivel az aszfaltkeverékek merevségi modulusai, különösen a plasztikus deformációra való hajlam is erősen változik kedvezőtlen irányba a hőmérséklet emelkedésével. A kapcsolat pl. exponenciális függvénnyel jól leírható (Pethő, 2008), így a változás mértéke a hőmérséklet emelkedésével rohamossá válik.

A csapadék hazánkban, térben és időben egyaránt változékony paraméter, ezért a csapadékváltozások, nem követnek olyan egyértelmű trendet, mint pl. a hőmérsékletemelkedés (Bartolty et al., 2011; Lakatos et al., 2012). Az éves csapadékösszeg a XX. század elejétől országos mértékben enyhén csökkent. A csökkenés mértéke a Dunántúlon az országos átlagnál nagyobb mértékű volt (Gálos és Vig, 2014; Bartolty et al., 2011). A csapadékoság a pályaszerkezet méretezés szempontjából elsősorban a pályaszerkezet alatti talaj teherbírását befolyásolhatja. Itt is inkább a nagycsapadékok, valamint a téli csapadékösszeg kiemelt jelentőségére érdemes a figyelmet felhívni.

4.1.2. A CSAPADÉK ÉS A HŐMÉRSÉKLET SZÉLSŐSÉGEINEK TENDENCIÁI

Az elmúlt 30 évben gyakoribbá váltak a szélsőségesen meleg időjárási helyzetek (Gálos et al., 2007; Lakatos et al., 2012). Példaként a nyári napok száma (napi maximum >25 Celsius fok) átlagosan 8 nappal, a hóhullámos napok száma (napi átlag >25 Celsius fok) 5 nappal nőtt. A fagyos napok száma (napi minimum hőmérséklet <0 Celsius fok) az általános melegedésnek megfelelően viszont 10 nappal csökkent (Lakatos et al., 2012).

A csapadék időbeli eloszlása is megváltozott az elmúlt néhány évtizedben. A csapadékos napok száma csökkent, így az aszályos nyarak megjelenése gyakoribbá vált (Szalai & Mika, 2007). A nyári csapadékkintenzitás átlagosan növekedett az országban, de térben osztva a problémát már nem ilyen egyértelmű a helyzet. A nyári csapadékkintenzitás növekedése a legerőteljesebb Komárom-Esztergom és Pest megyében, a Délnyugat-Dunántúlon viszont a csapadékkintenzitás csökkenése figyelhető meg (Lakatos et al., 2012).

4.2. JÖVŐBELI ÉGHAJLATI TENDENCIÁK

4.2.1. HŐMÉRSÉKLET ÉS CSAPADÉK ÁTALAGINAK JÖVŐBELI PROGNÓZISA

A regionális klíma-előrejelzések alapján az egész európai kontinens területén, minden évszakban felmelegedés várható, amelynek mértéke a 21. század vége felé fokozódik (Christensen et al., 2007, van der Linden et al., 2009; Jacob et al., 2008; Jacob et al., 2013). A melegedés mértéke 2-5 °C az alkalmazott klímamodell és emissziós forgatókönyvtől függően.

Vautard et al. (2014) kutatásai alapján a globális 2 °C-os átlagnál nagyobb melegedés várható Európában az 1971-2000-es referencia-időszakkal összevetve. A változások Európa szerte eltérőek, ami konkrétan a globálisnál enyhébb melegedést jelent a nyugati régiók, de intenzívebbet Dél-Európára nyáron, illetve Észak- és Kelet-Európára télen. A kutatás 30 éves periódust ölel fel, az SRES globális klímamodell A1B klíma forgatókönyvét alapul véve, 25 km-es felbontásra leskálázva.

Az éves csapadékösszegek tekintetében Európában 21. század második felére az északi régiók valószínűsíthetően nedvesebbek, míg a déli térségek szárazabbak lesznek (Kjellström et al., 2011). Ezt, a már korábban is előrevetített trendet erősíti meg az IPCC 2014-es jelentése is (IPCC, 2014), finomabb felbontású modellek eredményei alapján (Jacob et al., 2014; Vautard et al., 2013).

Magyarországon a jelen század végére akár 3-4 Celsius fokkal magasabbak is lehetnek a hőmérsékletek, az évszakok közül pedig a nyarak hőmérséklete emelkedhet a leginkább (Bartolly et al., 2011).

A csapadékösszeg tekintetében hazánkra vonatkoztatva nem szignifikáns a jövőbeli változás, mivel úgynevezett átmeneti zónában helyezkedik el. Az évszakok közül viszont nyáron minden klímamodell eredménye szerint a csapadékmennyiség jelentősebb csökkenése várható a század végére, míg ugyanakkor a telek csapadékosabbá válhatnak (Szépszó, 2008; Gálos et al., 2014). Hazánkra a szabálytalan csapadékeloszlás jellemző, így ugyanolyan valószínűséggel jelentkezhetnek heves csapadékesemények, mint erős szárazság (Gálos et al., 2015; Nováky & Bálint, 2013).

4.2.2. A HŐMÉRSÉKLET ÉS A CSAPADÉK SZÉLSŐSÉGEINEK JÖVŐBELI PROGNÓZISA

A jövőben, Európában megnövekedhet az előfordulása a szélsőséges napi maximum hőmérsékleteknek, a szélsőséges napi csapadékoknak és az evvel kapcsolatos árvizeknek. A hőmérséklet és a csapadékkintenzitás növekedés magával vonja a hidrológiai ciklus általános felgyorsulását is (Kjellström et al., 2011). Európa egész területén gyakoribbá válhatnak a hóhullámok, ez a hatás a mediterrán területeken még fokozottabb lesz (IPCC, 2014).

Magyarországon a napi maximum és minimumhőmérsékletek tekintetében egyaránt növekedés várható a XXI. század során. Az előrejelzések szerint gyakoribbá válnak majd a meleg hőmérsékleti szélsőségek (hőség és forró napok), azonban a hideg szélsőségek (téli és fagyos napok) száma csökken (Szépszó, 2008).

A csapadék időbeli eloszlása is átalakul majd a prognózisok szerint. A század végére a csapadékos napok száma tovább csökken a jelenhez képest is. A nagycsapadékok (20mm<) előfordulása általában (a nyár kivételével) növekedni látszik (Lakatos et al., 2012). A nagycsapadékok következtében előforduló villámárvizek gyakoribbá válhatnak. A hosszabb csapadékmentes periódusok viszont szélsőséesebb aszályokat indukálnak majd (Gálos et al., 2007).

4.3. A KLIMATIKUS JELLEMZŐK JELENBELI (1981-2010) ALAKULÁSA MAGYARORSZÁG TERÜLETÉN

Magyarországon az éghajlati elemek szempontjából nagyjából egységes éghajlati körzetekre osztható. A felosztást, az éghajlati paraméterek elemzésé, az egyes közigazgatási régiókhoz célszerű kötni, hiszen a támogatások is valószínűleg régiókhoz köthetők majd. Az egyes régiók a következők: Dunántúl, Közép-Dunántúl, Közép-Magyarország, Észak-Alföld, Dél- Alföld, Nyugat-Dunántúl, Észak-Magyarország. Mindemellett az egyes közigazgatási régiók elhelyezkedései viszonylag jól követi a csapadék és a hőmérséklet országos megoszlást is. A régiók területfoglalását az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A magyarországi régiók elnevezése (rövidítés) és területfoglalása.

Régió elnevezése	Régió rövidítése	Terület [km ²]
Dunántúl	D	14443
Közép-Dunántúl	KD	11526
Közép-Magyarország	BK	7092
Észak-Alföld	EA	18116
Dél-Alföld	DA	18565
Nyugat-Dunántúl	NYD	11382
Észak-Magyarország	EM	13686

A paraméterekre a klimatikus vizsgálatokban is szokásos 30-éves átlagokban történnek a számítások. A későbbiekben jelennek hivatkozott időszak az 1981-2010-es periódus értékeire vonatkozik. A múlt alatt az 1951-80-as időszakra utalunk. A Jövő esetében a rendelkezésre álló regionális klímamodellek adatai közül a Közép-Európára leginkább megfelelő REMO (Jacob et al., 2007) regionális klímamodell bias korrekcióval módosított adatait használtuk fel. A jövőbeli értékelési időszak a 2016-2045 közötti periódus, mivel a felhasznált adatbázisban csak 2016-tól állnak rendelkezésre a jövőre vonatkozó adatok. Az értékeléshez az A1B scenáriónak megfelelő változásokat vettük alapul. A kutatási munkához a FORESEE adatbázist használtuk fel (Dobor et al., 2013).

4.3.1. HŐMÉRSÉKLETEK

Az éves átlaghőmérséklet 11,1 Celsius fok, a legalacsonyabb átlaghőmérséklet Észak-Magyarországon jellemző a Bükk-fennsík 10,14 fokos értékkel (2. táblázat). Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek a leghűvösebbek 9-9,5 Celsius fokos átlaghőmérséklettel. Átlaghőmérséklet tekintetében a legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Dunántúl déli része 11,6 és 11,53 Celsius fokkal. Az átlaghőmérséklet régiók szerinti megoszlást a 2. táblázat tartalmazza. A táblázatban az átlag az egyes régiókba eső pixelek éves átlaghőmérsékleteinek területi átlaga. A minimum és a maximum, valamint a szórás az adott régió belüli pixelek éves átlagértékeire értelmezett térbeli statisztikák.

2. táblázat: Az éves átlaghőmérsékletek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min.[Celsius]	Max.[Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás
D	11,06	11,96	11,53	0,20
KD	9,68	11,78	11,08	0,45
BK	9,52	11,87	11,24	0,49
EA	10,16	11,64	10,79	0,45
DA	11,066	11,96	11,60	0,19
NYD	10,37	11,58	10,97	0,21
EM	8,34	11,28	10,14	0,61

A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy az orográfia hatását elhanyagolva a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 3-3,5 Celsius fokos átlaghőmérséklet különbségek vannak, ami indokolhatja a régiók kialakítását, a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

Az átlagok mellett a hőmérséklet szezonális menete is lényeges kérdés, hiszen a pályaszerkezet méretezés a havi jellemzők figyelembevételén alapul. A hőmérsékletek havi eloszlását a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat: A napi átlaghőmérsékletek szezonális megoszlása (1981-2010).

Hónap	Min. [Celsius]	Max. [Celsius]	Átlag. [Celsius]	Szórás	0 Celsius alatt	30 Celsius fölött
Jan.	-20,7	12,6	-0,57	4,69	53,75%	0,00%
Febr.	-16,9	15,2	1,45	4,76	36,32%	0,00%
Már.	-12,6	18,0	6,09	4,27	7,39%	0,00%
Ápr.	-2,0	21,7	11,68	3,73	0,04%	0,00%
Máj.	4,2	26,1	16,73	3,44	0,00%	0,00%
Jún.	8,3	29,9	19,63	3,33	0,00%	0,00%
Júl.	10,8	32,5	21,68	3,03	0,00%	0,19%
Aug.	10,1	30,6	21,26	3,10	0,00%	0,01%
Szept.	5,7	28,2	16,74	3,22	0,00%	0,00%
Okt.	-2,0	22,9	11,55	4,14	0,23%	0,00%
Nov.	-11,3	19,6	5,25	4,27	10,85%	0,00%
Dec.	-15,6	16,8	0,66	4,35	42,90%	0,00%

A 3. táblázat alapján megállapítható, hogy a havi átlaghőmérsékletek a -0,6 (január) és a 21,7 (július) Celsius fok között változnak. A napi átlaghőmérsékletek esetében a leghidegebb az 1981-2010 közötti időszakban -20,7 Celsius fok, míg a legmelegebb 32,5 Celsius fok volt. A legtöbb fagypont alatti átlaghőmérsékletű nap januárban volt, átlagosan 17 nap a hónapból. Fagypont alatti hőmérsékletű napok októbertől-ápriliséig, a 30 °C fölötti átlaghőmérsékletű napok pedig dominánsan júliusban voltak jellemzőek (átlagosan 0,06 nap a hónapban).

4.3.2. CSAPADÉK

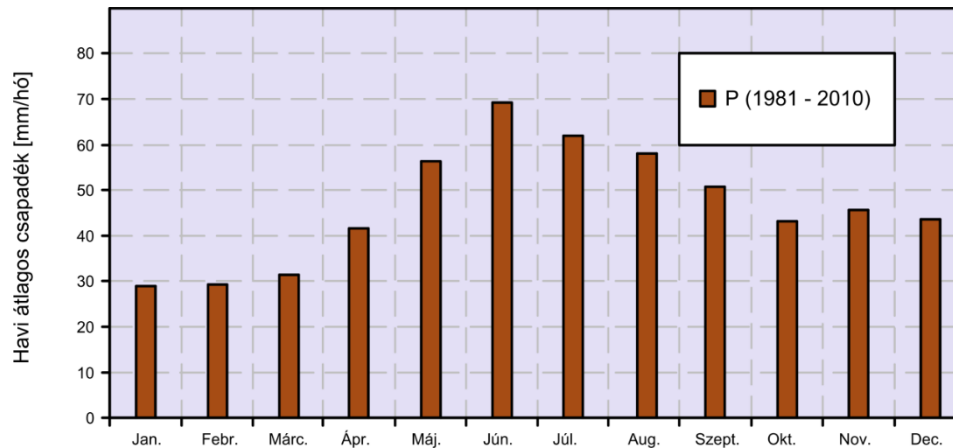
A csapadék esetében 586 mm/év az országos átlag az 1981-2010 közötti időszakban. A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg Közép-Magyarországon és a Dél-Alföldön jellemző 480-490 mm/év, míg a legnagyobb csapadékú a nyugat-dunántúli régió (614 mm/év). A csapadék területi eloszlását a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: Az éves átlagos csapadékösszegek [mm/év] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min. [mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás
D	512	713	586	47,19
KD	501	651	554	34,09
BK	487	649	523	36,22
EA	499	622	546	33,56
DA	490	570	521	16,32
NYD	505	764	614	66,84

EM	505	671	574	36.80
----	-----	-----	-----	-------

A csapadék havi eloszlását szemlélteti a 1. ábra, amely szerint a nyár eleji csapadékmaximum jellemző hazánkra és talajnedvesség szempontjából kritikus téli-tavaszi hónapok inkább átlagos vagy az alatti csapadékkal bírnak.



1. ábra: A havi átlagos csapadékösszegek [mm/hó] szezonális eloszlása az 1981-2010-es időszakban.

A földmű modulusaira tekintettel a tavaszi modulusok lehetnek jelentősen kisebbek alapvetően az olvadás következtében előálló felázottság miatt (Fi et al., 2012). A felázottság a magasabb talajnedvesség értékekben jelentkezik, amire leginkább a nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszege van hatással, ezek a csapadékok akkumulálódnak a talajban, növelve annak nedvességtartalmát. A vegetációs időszak csapadékait azért nem érdemes figyelembe venni ebből a szempontból, mert a nyári időszakban a potenciális párolgás általában magasabb, mint a csapadék, így a talajnedvesség készlet csökkenő tendenciát mutat. Az alacsonyabb talajnedvesség pedig (a szélsőségesen száraz, aszályos viszonyoktól eltekintve) egy kedvezőbb földmű modulusban nyilvánul meg. A nyugalmi időszak (téli félév) csapadékok területi eloszlást mutatja az 5. táblázat, amely szerint a hegyvidéki részekon kívül a Nagyalföld ÉK-i része, valamint a Dunántúl DNY-i területei rendelkeznek magasabb téli csapadékösszeggel.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 146 és 231 mm között van, 178 mm-es átlag értékkel. Mivel a nyugalmi időszak párolgása durván 80-100 mm körüli (Kovács, 2011), ezért a lefolyást is figyelembe véve (a csapadék kb. 10%-a, ami durván 20 mm) átlagosan 20 és 130 mm közötti csapadék áll rendelkezésre a talaj nedvességekészletének feltöltésére. A 100 mm fölötti csapadékmennyiség így, a kedvezőtlen agyagos talajú területeken, általában elegendő arra, hogy a gravitációs pórusméret alatti hézagokat telítse, a felső 1m-es talajrétegben, a szántóföldi vízkapacitásig. Az előbbi megállapítás még akkor is igaz, ha előzőleg a vegetációs időszakban a párolgás a hervadásponthoz víztartalomig leürítette a talaj nedvességekészletét (ami csak a szélsőségesen száraz években igaz). Számszerűen az egyes régiókra a következő átlagos téli csapadékösszegek a jellemzőek (5. táblázat).

5. táblázat: Az átlagos téli csapadékösszegek [mm] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1981-2010).

Régió	Min.[mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás
BK	158	221	174	15,09
D	171	230	190	13,94
DA	160	192	174	6,41
EM	146	217	168	14,90
NYD	162	231	185	17,40
KD	168	210	182	8,98
EA	150	207	175	14,07

4.4. A KLIMATIKUS JELLEMZŐK MÚLTBELI (1951-1980) ALAKULÁSA MAGYARORSZÁG TERÜLETÉN

A múltra vonatkozóan, hogy a változási tendenciákat megláthassuk érdemes a hőmérséklet és csapadékadatokat, valamint egyes levezetett jellemzőket egy korábbi azonos hosszúságú időszak méréseinek statisztikai adataival összevetni. Ez az időszak az 1951-1980 közötti periódus.

4.4.1. HŐMÉRSÉKLET

Az éves átlaghőmérséklet 10,3 Celsius fok, ami 0,7-0,8 fokkal alacsonyabb, mint a jelenre vonatkoztatott érték (1981-2010: 11,1 Celsius fok), a legalacsonyabb átlaghőmérséklet Észak-Magyarországon jellemző a Bükk-fennsíkon 7,8 (1981-2010: 8,3 Celsius fok) Celsius fokos értékkel. Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek a leghűvösebbek 8,5-9,0 Celsius fokos (1981-2010: 9,0-9,5 Celsius fok) átlaghőmérséklettel. Átlaghőmérséklet tekintetében a legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Duna-Tisza köze keleti része, ahol 11 Celsius fokot kissé meghaladó (1981-2010: 12 Celsius fok) átlaghőmérsékletek jellemzőek. Az átlaghőmérséklet régiók szerinti megoszlást a 6. táblázat tartalmazza:

6. táblázat: Az éves átlaghőmérsékletek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1951-1980).

Régió	Min.[Celsius]	Max.[Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás
D	10,04	11,05	10,49	0,26
KD	8,81	11,15	10,56	0,49
BK	10,56	11,13	10,88	0,11
EA	7,81	10,67	9,62	0,60
DA	9,30	10,36	9,89	0,20
NYD	8,64	10,97	10,11	0,49
EM	9,76	10,89	10,33	0,32

A 6. táblázat alapján megállapítható, hogy az orográfia hatását elhanyagolva a múltban is a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 2-2,5 °C átlaghőmérséklet különbségek voltak (1981-2010: 3-3,5 °C), ami a múltban még kevésbé indokolta volna a régiók kialakítását, a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

A hőmérsékletek havi eloszlását a 7. táblázat mutatja az 1951-80-as időszakban.

7. táblázat: A napi átlaghőmérsékletek szezonális megoszlása az 1951-80-as időszakban.

Hónap	Min.[Celsius]	Max.[Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás	0 Celsius alatt	30 Celsius fölött
Jan.	-21,9	11,6	-1,88	4,63	60,45%	0,00%
Febr.	-16,4	15,6	0,88	4,58	38,38%	0,00%
Már.	-13,3	17,5	5,24	4,55	12,84%	0,00%
Ápr.	-0,3	22,3	10,75	3,69	0,00%	0,00%
Máj.	2,6	26,2	15,45	3,55	0,00%	0,00%
Jún.	6,3	28,8	19,07	3,15	0,00%	0,00%
Júl.	9,8	29,7	20,49	2,87	0,00%	0,00%
Aug.	10,1	30,8	19,98	2,94	0,00%	0,03%
Szept.	3,6	26,5	16,23	3,47	0,00%	0,00%
Okt.	-1,2	22,3	10,85	3,76	0,02%	0,00%
Nov.	-8,7	17,8	5,39	4,13	9,73%	0,00%
Dec.	-16,2	11,8	0,58	4,01	42,51%	0,00%

A 7. táblázat alapján megállapítható, hogy a havi átlaghőmérsékletek a következő értékek között változnak: -1,9 Celsius fok a januári (-0,6 a január az 1981-2010) és 20,5 Celsius fok a júliusi (21,7 Celsius fok a július az 1981-2010). A napi átlaghőmérsékletek esetében a leghidegebb az 1951-80 közötti időszakban -21,9 Celsius fok (az 1981-2010 közötti időszakban -20,7 Celsius fok), míg a legmelegebb 30,8 Celsius fok volt (az 1981-2010 közötti időszakban 32,5 Celsius fok). A legtöbb fagypont alatti átlaghőmérsékletű nap 1951-80 között januárban volt, átlagos 18,7 nap a hónapból (1981-2010 átlagosan 17 nap a hónapból). Fagypont alatti hőmérsékletű napok, 1951-80 között is, októbertől-áprilisig voltak jellemzőek. A 30 Celsius fok fölötti átlaghőmérsékletű napok az 1951-80 közötti időszakban csak augusztusban fordultak elő minimális mértékben átlagosan 0,01 nap a hónapban (1981-2010 átlagosan 0,06 nap július hónapban), más nyári hónapban egyáltalán nem fordultak elő. Az összehasonlítás alapján kiderül, hogy a két harminc éves periódus között a napi átlaghőmérsékletek minimumai 1,5 Celsius fokkal emelkedtek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek 1,2 Celsius fokkal magasabbak. Ezek szerint a szélsőségek változásának mértéke jelentősebb, mint az átlagokban jelentkező 0,7-0,8 Celsius fokos növekedés. A fagypont alatti átlaghőmérsékletű napok 1,7 nappal csökkentek januárban, míg a 30 Celsius fok fölötti napok nőttek, 0,05 nappal több jelentkezett júliusban 1981-2010 között, mint 1951-80 között. A pályaszerkezetek vonatkozásában a fagy jelentőségének csökkenése mellett a magas hőmérsékletek (hőségnapok számának) emelkedése várható, ami a keréknyomképződés fokozódásához vezethet.

4.4.2. CSAPADÉK

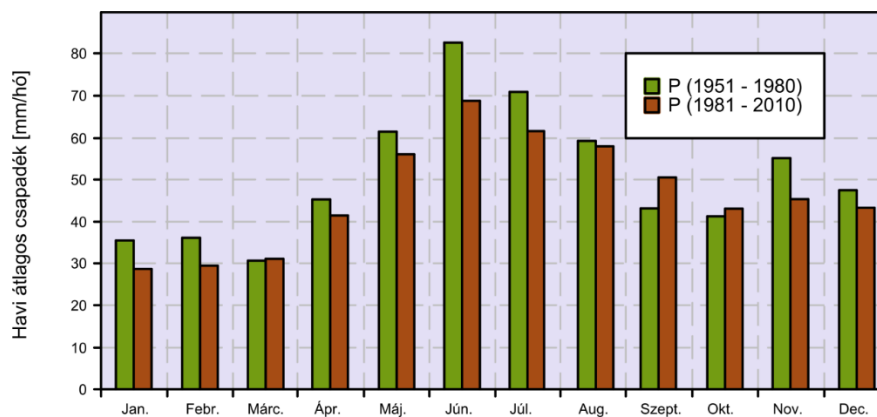
Az éves átlagos csapadék eloszlását a 8. táblázat mutatja. A csapadék esetében 609 mm/év az átlagos évi csapadékösszeg az 1951-80 közötti időszakban (586 mm/év az országos átlag 1981-2010 között). A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg 1951-80-as időszakban Közép-Magyarországon és a Dél-Alföldön jellemző 560-580 mm/év (jellemző 480-490 mm 1981-2010 között), míg a legnagyobb csapadékú a nyugat-dunántúli régió 650 mm/év körüli értékkel (1981-2010: 614 mm/év).

8. táblázat: Az éves átlagos csapadékösszegek (mm/év) térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1951-80).

Régió	Min.[mm/év]	Max.[mm/év]	Átlag [mm/év]	Szórás
D	561	752	651	46,72
KD	551	693	604	29,16
BK	540	706	580	39,13
EA	547	659	594	31,96
DA	524	619	559	14,67
NYD	554	794	652	65,17
EM	565	742	639	37,56

A csapadék havi eloszlását szemlélteti a 2. ábra, amely szerint az 1951-80-as periódushoz képest az 1981-2010-es időszakban nagyobb mértékű nyár eleji és abszolút értékben véve kisebb mértékű téli

csapadékcsökkenés volt jellemző. A kora őszi csapadékok megnöttek az ősz közepe és a tavasz eleje közel azonos csapadéku. A pályaszerkezetek szempontjából a fagy és olvadási károk téli időszakában a klíma kissé szárazabbá vált, de a mértékadó kora tavaszi időszakban alig történt változás.



2. ábra: A havi átlagos csapadékösszegek [mm/hó] szezonális eloszlása az 1951-80, valamint az 1981-2010-es időszakban.

A nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszegei akumulálódva növelik jelentősen a kritikus tavaszi időszakban a földmű nedvességtartalmát.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 181 mm (1981-2010: 146 mm) és 257 mm (1981-2010: 231 mm) között van, 205 mm-es (1981-2010: 178mm) átlag értékkel az országban. Az átlagos tendencia tehát 27 mm átlagos csökkenés 30 év alatt, de a szárazabb területeken a csökkenés erősebb, míg a nedvesebb területek csökkenése kevésbé jellemző (9. táblázat).

Itt is megjegyezzük, hogy a téli párolgást és a lefolyást figyelembe véve alapvetően a 100 mm fölötti csapadékmennyiségek lehetnek kedvezőtlenek az alapvetően kötött talajú területeken.

9. táblázat: Az átlagos téli csapadékösszegek [mm] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (1951-1980).

Régió	Min.[mm]	Max.[mm]	Átlag [mm]	Szórás
BK	187	250	203	15,74
D	197	255	220	14,48
DA	181	220	196	5,70
EA	187	230	203	12,85
EM	187	246	206	12,76
KD	190	238	206	9,04
NYD	183	257	206	19,45

4.5. A KLIMATIKUS JELLEMZŐK JÖVŐBELI (2016-2045) ALAKULÁSA MAGYARORSZÁG TERÜLETÉN

A jövőben lehetséges változási tendenciák értékelésére egy a jövőre vonatkozó, klimatikus szempontból már mértékadó és azonos hosszúságú időszakot, a 2016-2045 közötti periódus lett felhasználva és összevetve a jelen (1981-2010) méréseinek statisztikai adataival.

A regionális klímamodellek közül a Közép-Európára leginkább megfelelő REMO (Jacob et al., 2007) regionális klímamodell bias korrigált adatai lettek felhasználva. A bias korrekció az 1981-2010 közötti időszak mért adatai (FORESEE adatbázis) és a REMO regionális klímamodell ugyanerre az időszakra vonatkozó futtatásai alapján készült.

4.5.1. HŐMÉRSÉKLET

Az évi középhőmérséklet eloszlását hazánkban a 2016-2045 közötti időszakban a 10. táblázat mutatja. Az éves átlaghőmérséklet 12,0 Celsius fok, ami 0,9 Celsius fokkal magasabb, mint a jelenre vonatkoztatott érték (1981-2010: 11,1 Celsius fok), a legalacsonyabb átlaghőmérséklet Észak-

Magyarországon jellemző a jövőben is a Bükk-fennsíkon 9,3 (1981-2010: 8,3 Celsius fok) Celsius fokos értékkel. Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek, valamint az Alpokalja a leghűvösebbek 11,0-11,5 Celsius fokos (1981-2010: 9,0-9,5 Celsius fok) átlaghőmérséklettel. A legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Duna-Tisza köze nyugati része, valamint a Dél-Dunántúl déli és keleti része, ahol 12,5-13 Celsius fokos (1981-2010: 12 Celsius fok) átlaghőmérsékletek jellemzőek. Az átlaghőmérséklet régiók szerinti megoszlást a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat: Az éves átlaghőmérsékletek térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Min.[Celsius]	Max.[Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás
BK	10,41	12,81	12,18	0,50
D	11,98	12,93	12,46	0,22
DA	12,01	12,89	12,54	0,19
EA	11,17	12,59	11,76	0,43
EM	9,32	12,25	11,12	0,61
KD	10,53	12,71	11,96	0,47
NYD	11,16	12,47	11,79	0,23

A 10. táblázat alapján megállapítható, hogy a REMO regionális klímamodell prognózisa alapján, az orográfia hatását elhanyagolva, a jövőben a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 3,5 Celsius fokos átlaghőmérséklet különbségek valószínűsíthetők (1981-2010: 3-3,5 Celsius fok). Ez a területi különbség a jelenhez közel hasonló mértékben teheti indokolttá régiók alkalmazását a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

A hőmérsékletek havi eloszlását a 11. táblázat mutatja az 2016-2045-ös időszakban.

11. táblázat: A napi átlaghőmérsékletek szezonális megoszlása az 2016-2045-ös időszakban.

Hónap	Min.[Celsius]	Max.[Celsius]	Átlag [Celsius]	Szórás	0 Celsius alatt	30 Celsius fölött
Jan.	-16,00	11,90	-0,05	4,40	50,76%	0,00%
Febr.	-16,70	15,50	2,81	4,85	24,53%	0,00%
Már.	-6,80	20,50	6,64	3,97	5,93%	0,00%
Ápr.	-2,10	24,30	12,26	3,46	-0,10%	0,00%
Máj.	3,90	26,60	17,45	3,78	0,00%	0,00%
Jún.	9,50	31,40	20,48	3,49	0,00%	0,76%
Júl.	8,70	35,20	22,77	3,27	0,00%	3,07%
Aug.	12,00	32,30	22,56	3,07	0,00%	2,14%
Szept.	7,50	32,00	18,06	3,20	0,00%	0,34%
Okt.	-0,20	22,90	13,01	4,26	0,22%	0,00%
Nov.	-2,80	17,40	5,87	3,88	8,20%	0,00%
Dec.	-14,90	16,50	1,44	4,07	36,67%	0,00%

A 11. táblázat alapján megállapítható, hogy a havi átlaghőmérsékletek a -0,1 Celsius fok a januári (-0,6 a január az 1981-2010) és 22,8 Celsius fok a júliusi (21,7 Celsius fok a július az 1981-2010) között változnak. A napi átlaghőmérsékletek esetében a leghidegebb a 2016-2045 közötti időszakban -16,7 Celsius fok (az 1981-2010 közötti időszakban -20,7 Celsius fok), míg a legmelegebb 35,2 Celsius fok (az 1981-2010 közötti időszakban 32,5 Celsius fok) mint jövőben várható értékek. Az összehasonlítás alapján kiderül, hogy a két harminc éves periódus között a napi átlaghőmérsékletek minimumai emelkednek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek jelentősen (több fokkal) magasabbak is lehetnek. Ezek szerint a szélsőségek változásának mértéke a meleg nyári hónapokban jelentősebb lesz, mint az átlagokban jelentkező növekedés. A fagypont alatti átlaghőmérsékletű napok csökkennek a téli időszakban (mintegy 6-7 nappal évente). Míg a 30 Celsius fok fölötti napok száma is nő és már nemcsak júliusban és augusztusban, hanem májustól szeptemberig előfordulhatnak majd. A pályaszerkezetek vonatkozásában a fagyos napok jelentősége csökken, ami az oladási károkkal sújtott időszak hosszának

növekedését jelentheti. Míg a magas hőmérsékletek (hőségnapok számának) emelkedése várható, ami a keréknyomképződés fokozódásához vezethet.

4.5.2. CSAPADÉK

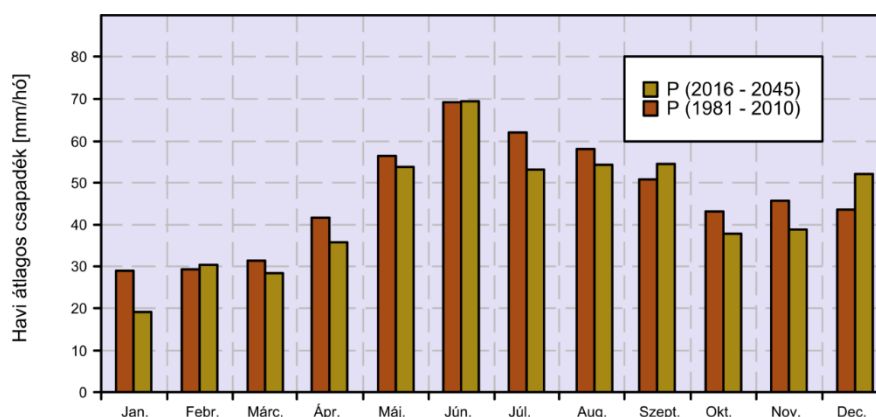
Az éves átlagos csapadék eloszlását a 12. táblázat mutatja. A csapadék esetében 527 mm/év az átlagos évi csapadékösszeg a 2016-2045 közötti időszakban (586 mm/év az országos átlag az 1981-2010). A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg 1951-80-as időszakban a Kiskunság Északi részén jellemző 400-450 mm (de az egész Nagyalföld középső részén 500 mm/év alatt marad az éves csapadék), míg a legnagyobb csapadékú a délnyugat-dunántúli régió 604 mm/év körüli értékkel (1981-2010 614 mm/év).

12. táblázat: Az éves átlagos csapadékösszegek [mm/év] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Min.[mm/év]	Max.[mm/év]	Átlag [mm/év]	Szórás
BK	442	629	482	44,04
D	456	691	554	54,27
DA	443	545	489	25,13
EA	452	585	505	33,24
EM	461	646	543	41,72
KD	458	621	521	38,89
NYD	497	731	604	55,85

A Boromissza-féle méretezési praktikum (Boromissza, 1997) térképével összehasonlítva megállapítható, hogy a 600 mm/éves izohiéta közel azonos helyen áll, mint az 1981-2010-es időszakban. Az 1981-2010 közötti időszakkal összehasonlítva az Alföld középső része és a Keleti országrész szárazodó tendenciát mutat.

A csapadék havi eloszlását szemlélteti a 3. ábra, amely szerint az 1981-2010-es periódushoz képest az 2016-2045-ös időszakban a téli csapadékösszeg közel változatlan volta mellett (kisebb növekedés decemberben) a nyári csapadékösszeg jelentősebb csökkenése várható. A pályaszerkezetek szempontjából a fagy és olvadási károk téli időszakában a csapadékösszeg hasonló marad. Az elemzéshez azonban érdemes hozzáfűzni, hogy a klímamodellek csapadékeloszlása jelentősen eltérhet a valós csapadékeloszlástól, így ezeket az eredményeket fenntartással érdemes kezelni.



3. ábra: A havi átlagos csapadékösszegek [mm/hó] szezonális eloszlása a 2016-2045, valamint az 1981-2010-es időszakban.

A jelenhez hasonlóan a lehetséges jövőre vonatkozóan elemezzük a nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszegeit, hiszen ezek a csapadékok akkumulálódva növelhetik majd a kritikus tavaszi időszakban a földmű nedvességtartalmát.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 131 mm (1981-2010 146 mm) és 254 mm (1981-2010 231 mm) között van, 171 mm-es (1981-2010 178 mm) átlagos értékkel az országban. Az átlagos tendencia tehát alig 7 mm átlagos csökkenés a térbeli szélsőségek növekedése mellett (13. táblázat). Az előbbieket szerint a téli félév csapadékösszege mintegy 15 mm-es csökkenéssel jellemezhető majd. A tavasz

csapadékcsökkenése ennél jelentősebb lesz, a melegedés pedig valószínűleg többletpárolgással jár majd. Ezek a hatások valószínűleg csökkentik majd a tavaszi talajnedvességeket.

Itt is megjegyezzük, hogy a téli párolgást és a lefolyást figyelembe a 100 mm fölötti téli csapadékösszegek lehetnek kedvezőtlenek az alapvetően kötött talajú területeken.

13. táblázat: Az átlagos téli csapadékösszegek [mm] térbeli statisztikái a magyarországi régiókban (2016-2045).

Régió	Pixel	Min. [mm]	Max. [mm]	Átlag [mm]	Szórás [mm]
BK	7079	137.852	207.871	155.64	17,91
D	14429	148.293	246.401	186.48	22,80
DA	18545	138.541	191.915	162.07	11,08
EA	18041	132.370	214.544	162.56	18,52
EM	13438	130.870	205.357	155.98	16,60
KD	11454	148.216	208.271	177.65	14,93
NYD	11177	172.161	254.821	204.78	19,06

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben, a klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre a három vizsgálati periódusban (1951-1980; 1981-2010; 2016-2045) a következőképpen foglalhatók össze:

A jövőre (2016-2045) vonatkoztatott éves átlaghőmérséklet 12,0 °C, ami 0,9 Celsius fokkal magasabb, mint a jelenre (1981-2010: 11,1 °C), és 1,7 fokkal magasabb, mint a múltban (1951-1980: 10,3 °C) kapott értékek.

Ha az orográfia hatását nem számítjuk, akkor az ÉK-i területek, valamint az Alpokalja a leghűvösebbek 11,0-11,5 Celsius fokos átlaghőmérséklettel (1981-2010: 9,0-9,5 °C; 1951-1980: 8,5-9,0 °C). A legmelegebb terület a Dél-Alföld, ill. a Duna-Tisza köze nyugati része, valamint a Dél-Dunántúl déli és keleti része, ahol 12,5-13 °C átlaghőmérsékletekkel számolhatunk (1981-2010: 12 °C; 1951-1980: 11 Celsius fokot kissé meghaladó). A jövőben a leghidegebb ÉK-i rész és a legmelegebb D-i rész között 3,5 °C átlaghőmérséklet különbségek valószínűsíthetők (1981-2010: 3-3,5 °C; 1951-1980: 2-2,5 °C). Ez a területi különbség a jelenhez közel hasonló mértékben teheti indokolttá régiók alkalmazását a pályaszerkezet méretezés hőmérsékleti korrekciójának szempontjából.

Az 1981-2010 és a 2016-2045 periódus között a napi átlaghőmérsékletek minimumai emelkednek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek jelentősen (több fokkal) magasabbak is lehetnek. Ezek szerint a szélsőségek változásának mértéke a meleg nyári hónapokban jelentősebb lesz, mint az átlagokban jelentkező növekedés. Az 1951-1980 és a 1981-2010 periódusok között a napi átlaghőmérsékletek minimumai 1,5 °C-kkal emelkedtek, míg a maximális napi átlaghőmérsékletek 1,2 °C-kkal magasabbak. A szélsőségek változásának mértéke tehát jelentősebb, mint az átlagokban jelentkező 0,7-0,8 Celsius fokos növekedés.

Az 2016-2045-ös periódusban fagypont alatti átlaghőmérsékletű napok csökkennek, mintegy 6-7 nappal évente az 1981-2010-es, és 7,7-8,7 nappal a 1951-1980-as periódushoz képest. Míg a 30 °C fölötti napok száma nő a jövőben. A pályaszerkezetek vonatkozásában a fagyos napok jelentősége tehát csökken, ami az olvadási károkkal sújtott időszak hosszának növekedését jelentheti, a hőségnapok számának emelkedése pedig a keréknyomképződés fokozódásához vezethet.

A csapadék esetében 527 mm/év az átlagos évi csapadékösszeg a 2016-2045 közötti időszakban (1981-2010: 586 mm/év; 1951-1980: 609 mm/év).

A legkisebb éves átlagos csapadékösszeg 2016-2045-ben a Nagyalföld középső részén várható (<500 mm/év). Az 1951-80-as időszakban Közép-Magyarországon és a Dél-Alföldön 580 mm/év, míg 520 mm/év 1981-2010 között. A legnagyobb csapadékú a délnyugat- dunántúli régió 604 mm/év értékkel (1981-2010: 614 mm/év; 1951-1980: 650 mm/év).

A csapadék havi eloszlása szerint az 1981-2010-es periódushoz képest a 2016-2045-ös időszakban a téli csapadékösszeg közel változatlan volta mellett a nyári csapadékösszeg jelentősebb csökkenése

várható. A csapadék havi eloszlása szerint az 1951-80-as periódushoz képest az 1981-2010-es időszakban nagyobb mértékű nyár eleji és abszolút értékben véve kisebb mértékű téli csapadékcsökkenés volt jellemző. A kora őszi csapadékok megnöttek az ősz közepe és a tavasz eleje közel azonos csapadéku.

A pályaszerkezetek szempontjából a fagy és olvadási károk téli időszakában a csapadékoság hasonló marad mindhárom vizsgálati periódusban. Az elemzéshez hozzáfűzendő, hogy a klímamodellek csapadékeloszlása jelentősen eltérhet a valóstól, így ezeket az eredményeket fenntartással érdemes kezelni. A nyugalmi időszak (november-április) csapadékösszegei akkumulálódva növelik jelentősen a kritikus tavaszi időszakban a földmű nedvességtartalmát.

A téli félév csapadékösszege átlagosan 171 mm (1981-2010 178 mm; 1951-1980: 205 mm) az országban. Az átlagos tendencia tehát alig 7 mm átlagos csökkenés a jövőben, a jelenhez, de 34 mm-es csökkenést a múlthoz képest, a térségi szélsőségek növekedése mellett. A tavasz csapadékcsökkenése várhatóan jelentős lesz, a melegedés pedig többletpárolgással jár majd. Ezek a hatások valószínűleg csökkentik majd a tavaszi talajnedvességeket.

A téli párolgást és a lefolyást figyelembe véve a 100 mm fölötti téli csapadékösszegek lehetnek kedvezőtlenek az alapvetően kötött talajú területeken.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS:

A publikáció megírását az EFOP 362-16-2017-00018 „Termeljünk együtt a természettel – Az agrárerdészet, mint új kitörési lehetőség” pályázat támogatta.

7. IRODALOMJEGYZÉK

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.

Boromissza, T. 1997: Méretezési Praktikum, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezési gyakorlata, Közúti közlekedési füzetek 16, Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Budapest, p. 82.

Boromissza, T., Detre, Gy., Lazányi, I. & Szalai, S. 2007: Az útépitési fagyhatárzónák pontosítása. Közúti és mélyépítési szemle, 6. szám: 16-21.

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, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9210-7>

Fi, I., Boncs, P., Pethő, L. & Tóth, Cs. 2012: Útburkolatok méretezése. Terc Kft. ISBN 978 963 9968 349, p. 457.

Gálos, B., Lorenz, Ph. & Jacob, D. 2007: Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environ. Res. Lett., 2, 034006 (9pp), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/3/034006>

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, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3947.6963>

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)

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

Gupta, A. 2014: „A review of Environmental Factors on Flexible Pavement Modelling”, Modern Traffic and Transportation Engineering Research, vol:3 iss:1 pg:14-20

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.

Jacob, D., Barring, L., Christensen, Ob., Christensen, JH., Castro, M., DeUe, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sanchez, E., Schar, C., Seneviratne, SI., 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. *ClimChange*, 81:31-52, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9213-4>

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.

Jacob, D., et 38 coauthors EURO-CORDEX 2014: newhigh-resolution climate change projections for European impact research, *RegEnvironChange*, <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>

Kovács, Á. 2011: Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

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 [Climate extreme changes in Hungary: recent past and future] (in Hungarian)

van der Linden, P. & Mitchell, J.F.B. (eds.) 2009: ENSEMBLES: ClimateChange and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. 160pp, Met Office Hadley Centre, FitzRoyRoad, Exeter EX1 3PB, UK

Nováky, B. & Bálint, G. 2013: Shifts and Modification of the Hydrological Regime Under Climate Change in Hungary; <http://doi.org/10.5772/54768>

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.

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/aecr/0904_387398

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.

Szépszó, G. 2008: Regional change of climate extremes in Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project, *Időjárás* 112 265–83.

Ureczky, J., & Tóth, Cs. 2008: A hőmérséklet teherbírásra gyakorolt hatásának vizsgálata. *Közúti és mélyépítési szemle.*, 2008 április, 3. szám. 9-14.

Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D. et 25 coauthors 2013: 41: 2555. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1714-z>

Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Menglik, T., Landgren, O., Nikulin, G., Teichmann, C. & Jacob, D. 2014: The European climate under a 2 °C global warming, *Environ. Res. Lett.* 9 034006 (11pp), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034006>