



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Építőmérnöki Kar

**TDK dolgozat 2016.**

# **A klímaváltozás hatásai a közúti infrastruktúrára**

**Bakó Mária Judit**

**BSc Építőmérnök hallgató**

**Konzulensek:**

**Dr. Hunyadi Dóra, BME Út- és Vasútépítési Tanszék (UVT)**

**Katona Attila, Regional Environmental Center (REC)**

## **Tartalomjegyzék**

1. Bevezető és a téma fontosságának hangsúlyozása .....	1
2. A klímaváltozás jelensége, természeti hatásai, előrejelzések .....	4
2.1. A globális felmelegedés .....	4
2.2. A klímaváltozás okozta változások, előrejelzések .....	6
2.2.1. A légkör melegedése.....	7
2.2.2. A jégtakaró és a permafroszt változása .....	7
2.2.3. Csapadékmennyiség és intenzitás változása.....	8
2.2.4. Az óceán melegedése és savasodása.....	9
2.2.5. Szélsébség .....	10
2.2.6. A tengerszint növekedése .....	11
3. A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára.....	12
4. A magyar közúthálózat jelenlegi helyzete, adatforrások .....	16
5. A közúti infrastruktúrában keletkezett károk, ok-okozati összefüggések .....	21
5.1. Légköri melegedés, magas hőmérsékleti szélsőségek.....	22
5.1.1. Pályaburkolatok deformáció-veszélye.....	23
5.1.2. Növekvő változékonyság a meleg/hideg napok között .....	27
5.1.3. Permafroszt olvadása .....	28
5.2. Hideg hőmérsékleti szélsőségek .....	30
5.3. Csapadékmennyiség és intenzitás változása.....	39
5.4. Extrém szelek, viharok .....	47
5.4.1. Széllökések .....	47
5.4.2 Viharos hullámozás.....	50
5.5. Tengerszint növekedése.....	54
6. Költségvetési kitekintés .....	55
6.1. A költségek keletkezése .....	55
6.2. Egy meglévő költségbeadási tanulmány eredményei.....	61
7. Saját kutatás: a közúthálózaton felhasznált téli jégmentesítők tendenciája .....	64
8. Összefoglaló.....	66
Számítási melléklet .....	67
Irodalomjegyzék .....	69

## **Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke**

### **Ábrák**

- 1. ábra:** Az üvegházhatású gázok koncentráció növekedése és a globális átlagos felszinközeli hőmérséklet változás **5.**
- 2. ábra** A globális felszinközeli levegő átlagos hőmérsékletének változása 1880 és 2012 között. A fekete görbe az éves, a vörös görbe az ötéves átlaghőmérséklet alakulását mutatja. A bázisidőszak az 1951-1980 évek átlaga **7.**
- 3. ábra** Az átlagos csapadék 2081-2100-ra előre vetített változása (1986-2005 állapothoz képest) a legoptimistább (bal oldal) és a legrosszabb (jobb oldal) forgatókönyv szerint **8.**
- 4. ábra** Az éves (vékony vonal) és az ötéves (vastag vonal) hőmérsékleti anomáliák átlaga a Föld szárazföldi területein (piros) és a tengerfelszínen (kék) [csak az óceán jégmentes részeit vizsgálva] **9.**
- 5. ábra** A globális klímamodellek százalékos összesítése alapján, az előrebecsülhető éves átlagos szélsőérték értékek 2050-ben **10.**
- 6. ábra** Tengerszint növekedése 1993-tól napjainkig **11.**
- 7. ábra** A vizsgált időjárási jelenségekről szóló jelentések és azok főbb kihatási területei **13.**
- 8. ábra** Gulf Coast tanulmány szerint vizsgált terület veszélyeztetett repülőterei, az elöntés miatt **14.**
- 9. ábra** A kritikus időjárási jelenségek összefoglaló térképe, régióként jelölve a legkritikusabb jelenségeket, infrastruktúrákat illetve káreseményeket (Európában) **15.**
- 10. ábra** A magyar közúthálózat hosszának változása (2006-2015) **16.**
- 11. ábra** Országos közutak (fő- és mellékhalózat) burkolati minőség szerinti megoszlása (2015.12.31.) **17.**
- 12. ábra** Meteorológiai mérőműszerek eloszlása a magyar közúthálózat mentén **19.**
- 13. ábra** Az ÚTMET rendszer térképes megjelenítés felülete egy adott állomás adataival **19.**
- 14. ábra** Példa az ÚTMET rendszerben végzett grafikus elemzésre **20.**
- 15. ábra** EWENT projekt, Áruszállítási folyosók Európában **22.**
- 16. ábra** A hőség napok éves számának időszora (hazai rácsponatok átlaga alapján) a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel 1901-2009 között. **25.**

## A klímaváltozás hatásai a közúti infrastruktúrára

---

<b>17. ábra</b> Hőmérsékleti indexek múltbéli (1961-1990) előfordulásának és jövőbeli várható változásának magyarországi átlaga modellszimulációk alapján	<b>25.</b>
<b>18. ábra</b> Hőhullámok előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra	<b>26.</b>
<b>19. ábra</b> Azon budapesti napok száma, amikor a napi minimum hőmérséklet fagypont alatt és a napi maximális hőmérséklet fagypont felett van.	<b>28.</b>
<b>20. ábra</b> A fagyos napok éves számának időszora (hazai rácspontok átlaga alapján) a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel 1901-2009 között.	<b>30.</b>
<b>21. ábra</b> Só felhasználások trendje 2008-2016	<b>36.</b>
<b>22. ábra</b> Klórtartalom az útpályától távolodva	<b>37.</b>
<b>23. ábra</b> A modifikált aszfalt merevségi viselkedése	<b>38.</b>
<b>24. ábra</b> „Hideg hullámok” és hóesések gyakoriságának előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra	<b>38.</b>
<b>25. ábra</b> Néhány extrém csapadék klímaindex rácsponti átlagának időszora, a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel (Magyarország, 1901–2009)	<b>39.</b>
<b>26. ábra</b> Legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség változása (Magyarország, 1960-2009)	<b>40.</b>
<b>27. ábra</b> Az árvízi kockázatok változása a jövőben (2071-2100)	<b>42.</b>
<b>28. ábra</b> Havi csapadékösszegek 2010-ben az 1971-2000-es normál százalékában (58 állomás homogenizált, interpolált adatai alapján)	<b>46.</b>
<b>29. ábra</b> Szélrohamok gyakoriságának előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra	<b>49.</b>
<b>30. ábra</b> A viharos hullámozás szintje a közepes tengerszinthez viszonyítva	<b>50.</b>
<b>31. ábra</b> A forgalmi folyam átlagos sebességének és az általános közlekedési költségek nagyságának változása a forgalomnagyság, illetve a kapacitáskihasználás függvényében	<b>56.</b>
<b>32. ábra</b> A magyar közúthálózat "C" szolgáltatási szintjéhez szükséges évenkénti forrásigény (2000-2010)	<b>58.</b>
<b>33. ábra</b> Hajlékony pályaszerkezetű (aszfaltburkolatú) út állapotának változása az idő függvényében (elméleti leromlási görbe) és a fajlagos fenntartási költségek nagyságrendjének alakulása	<b>60.</b>
<b>34. ábra</b> Télen felhasznált jégmentesítők tendenciája (2000/2001-2014/2015) saját kutatás alapján	<b>63.</b>

**Táblázatok:**

<b>1. táblázat</b> Magas hőmérsékleti küszöbértékek	<b>23.</b>
<b>2. táblázat</b> Alacsony hőmérsékleti küszöbértékek	<b>31.</b>
<b>3. táblázat</b> Hóesési küszöbértékek	<b>32.</b>
<b>4. táblázat</b> Hóvihar küszöbértéke	<b>33.</b>
<b>5. táblázat</b> A Magyar Közút által használt CaCl <sub>2</sub> oldat bekeverési előírásai a hőmérséklet függvényében	<b>35.</b>
<b>6. táblázat</b> Heves csapadék küszöbértékei	<b>43.</b>
<b>7. táblázat</b> Szellőkések küszöbértékei	<b>49.</b>
<b>4. táblázat</b> A hurrikánok Saffir-Simpson féle skálája (szélerősség alapján:1 - leggyengébb, 5 - legerősebb)	<b>51.</b>
<b>5. táblázat</b> Az utak és hidak értékének nyilvántartásához, nettó értékének számításához használt, becsült átlagos hasznos élettartam értékek néhány országban	<b>57.</b>
<b>6. táblázat</b> A közlekedés társadalmi összköltségének összetevői	<b>59.</b>
<b>7. táblázat</b> A gyorsforgalmi úthálózaton szélsőséges időjárási körülmények között/miatt bekövetkezett balesetek költségei évi átlagos értékének számítása	<b>61.</b>
<b>8. táblázat</b> Szélsőséges klimatikus események éves közvetlen gazdasági következményeinek becsült értéke	<b>62.</b>

**Képek**

- 1. kép** Nyomvályú, repedés, törés, leendő kátyú az útpályaburkolaton **24.**
- 2. kép** A Yellowknife-től keletre, Kanada északnyugati részén fekvő 4-es út károsodása, a permafroszt olvadása miatt **29.**
- 3. kép** Hófűvás miatt elakadt autók az M1-es autópályán (2013.03.14-15.) **34.**
- 4. kép** A burkolat beszakadása az M1-es autópályán (2010. május 19.) **44.**
- 5. kép** Nógrádkövesd és Magyarnándor között lecsúszott a rézsűfelület, a földtömeg magával sodorta az átereszt is **46.**
- 5. kép** 2015. augusztus 29-n, fákat kidöntő heves szélvihar söpört végig a Kanada nyugati részén fekvő Vancouveren (Brit Columbia tartomány) **48.**
- 6. kép** Szél által elhajlított portáltábla Wisconsin déli részén (Egyesült Államok), 2016.07.06-án **48.**
- 7. kép** Viharos hullámvázás miatt megsemmisült védőgát és part menti erózió Florida keleti részén, 2004. október 27-én (New Smyrna Beach) **52.**

# A klímaváltozás hatásai a közúti infrastruktúrára

## Összefoglaló

A klímaváltozás, amit részben a üvegházhatású gázok növekvő koncentrációja okoz, immár globális, tudományos tény, egyre kézzelfoghatóbb része az életünknek és egyre többször találkozunk szemtől szembe a hatásaival. Az IPCC kutatóinak előrejelzései szerint, várhatóan tovább fog nőni a globális, átlagos léghőmérséklet illetve a felszíni víz hőmérséklete is. Ennek következményeként, gyakoribbá válnak majd a meleg időjárási szélsőségek. A közepes földrajzi szélességeken, így Európa nagy részén, több mint 90% a valószínűsége, hogy a nagy csapadékkal járó események intenzívebbé és gyakoribbá válnak. Ezen kívül továbbra is várható az óceánok felmelegedése, az Északi-sark vidékénél a tengeri jég olvadása, így folytatódni fog a tengerszint emelkedése. Az extrém időjárási események gyakorisága, intenzitása és időzítése mind változik. Egyszerre kell foglalkoznunk hőhullámok, aszályok, árvizek, heves esőzések és szelek következményeivel, amik életünk legtöbb területét befolyásolhatják.

A mai világ szervezett működéséhez elengedhetetlen a közlekedési és szállítási funkciók biztosítása. Az elmúlt év eseményeit és előrejelzéseket látva pedig természetesnek tűnik, hogy újragondoljuk életünk felépítését. A közlekedési infrastruktúra klímaváltozáshoz való adaptációja a szakpolitikában is egyre nagyobb hangsúlyt kap. A működési elvek illetve a lehetséges kockázatok, a gyengepontok és a következmények megértése az első lépés, egy rugalmas közlekedési infrastruktúra tervezéséhez, építéséhez és üzemeltetéséhez.

Mekkora befolyást jelentenek a változások a közlekedésre, az úthálózatra? Melyek a legnagyobb fennakadást okozó környezeti tényezők? Mely területeket érintik leginkább a klímaváltozás miatt megváltozott körülmények? Az infrastruktúra megléte, annak kiépítettsége és minősége kiemelten fontos e kérdések vizsgálatakor. Ezért dolgozatomban a klímaváltozási előrejelzések részletesebb áttekintése után, a közlekedési infrastruktúrára gyakorolt hatásaira fókuszáltam.

Az infrastruktúra sokszínűsége és terjedelme miatt azonban szükséges volt korlátozni a vizsgált területet. Tanulmányom fő témájaként így, részletesen, csak a közúti infrastruktúrát érintő változásokat vizsgáltam. Igyekeztem rávilágítani a lehető legtöbb ok-okozati összefüggésre, ami felmerülhet a szélsőséges időjárás és az úthálózathoz kapcsolódó károk között. Ehhez első sorban több hazai és nemzetközi szakirodalmat, tanulmányokat és szócikkeket valamint a Magyar Közút Nonprofit Zrt. éves beszámolóit, téli értékeléseit és több éves adatsorait használtam fel. A szemléletes bemutatás érdekében, a lehetséges károkat konkrét példákkal támasztottam alá. Dolgozatom végén kis kitekintést tettem, milyen költségbeli következményeket vonhat maga után a klímaváltozásra történő felkészülés illetve reagálás a közúthálózatban.

Bízom benne, hogy a dolgozatom végére kapott komplex kép, a felvillantott összefüggések hozzájárulnak majd az alkalmazkodáshoz illetve további döntéshozatalok alapjául szolgálnak majd.

# Impact of Climate Change on Road Infrastructure

## **Abstract**

There is a global scientific consensus that the world's climate is changing from increased greenhouse gas concentrations, and its effects are more and more tangible in our daily lives. According to IPCC reports, the global average air and surface water temperature is expected to continue rising, resulting in increased frequency of warm weather extremes. In the mid-latitude belt of Europe, we can expect changing precipitation patterns and sea level rise, along with changes in the frequency, intensity and timing of extreme events, such as heatwaves, droughts, floods, windstorms, storm surges, heavy downpours and blizzards - all of which will have substantial impact on our everyday lives.

Transportation and logistics are instrumental to many economic and social functions of our modern society. Therefore, based on historical data and scientific forecasts, the need for urgent adaptation action is widely acknowledged. Adapting man-made infrastructure and services to these impacts has received increasing attention in the policy arena. A clear understanding of the potential dynamics, risks, vulnerabilities and consequences appears to be both a first step and a prerequisite for the design and construction of resilient transport infrastructure and their management systems.

How significantly will these impact transport and road networks? Which environmental factors could cause the greatest disruption? Which regions are most affected by climate-induced risks? As transportation requires operational and efficient transport networks, the quality and coverage of the infrastructure is highly important when we seek answers to these questions. In my research, I focused on analyzing climate change forecasts, followed by in-depth assessment of the potential impacts on the transport infrastructure.

Narrowing the focus of my research down was necessary due to the diversity and scale of transport infrastructure: this paper only focuses on changes affecting the road infrastructure in detail. I attempted to shed some light on as much causalities between extreme weather events and associated damage to the road networks as possible. For this purpose, I've used hungarian and international literature, studies and articles, as well as annual accounts, winter assessments and multi-year data series of the Hungarian Public Road Nonprofit Private Limited Company (Magyar Közút Nonprofit Zrt.). In order to visualize the potential damages, the study contains a series of supporting examples. The last chapter of the paper looks at the potential costs of adaptation and preparation measures in road networks, as well as the costs of inaction.

I'm confident that the outcome of my research contributes to adaptation and serves as a basis of further decision-making.



## **1. Bevezető és a téma fontosságának hangsúlyozása**

A globális klímaváltozás jelenléte és felgyorsulása mára tudományos tény, mely egyre nagyobb hangsúlyt kap világszerte, hiszen következményeit immár nem lehet figyelmen kívül hagyni. A múlt század közepe óta számos szélsőséges időjárási és éghajlati trendben figyeltek meg változásokat: hirtelen az egekbe szökő, perzselő hőség, szárazság, heves esőzések, szélviharok, zord téli időjárás, eltolódott évszakok és kiszámíthatatlan időjárási anomáliák. . A klímaváltozás hatásainak kérdése az egyik legnagyobb, legösszetettebb probléma a világban. Az eddig változatlanok tekintett természeti jelenségek átalakulnak, az időjárási trendek megváltoznak és olyan extrém eseményekkel kell foglalkozni, amik egyáltalán nem voltak jellemzőek az adott területre. Több régióban is megfigyelték, a hideg hőmérsékleti szélsőségek csökkenését, a meleg hőmérsékleti szélsőségek növekedését, a szélsőségesen magas tengerszint növekedését, valamint a heves esőzések gyakoriságának növekedését [1]. A szélsőségek gyakorisága, intenzitása és időzítése mind rohamos mértékben változik, ez pedig az ember által létrehozott és a természeti rendszerekre egyaránt nagy hatással vannak.

Habár ma már egyre nagyobb hangsúlyt kap a változások figyelemmel kísérése, előrejelzése és az ezekre való reagálás, nem mindig volt ez így. Az üvegházhatás és a klímaváltozás közötti első összefüggés felismerése után (XIX. század vége), még egy fél évszázadnak kellett eltelnie, hogy megkezdődjenek az első komolyabb klímakutatások. És ezután is még több évtizednek, hogy bármiféle válaszreakció szülessen a változásra. A globális előrelépést az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezménye hozta. Az 1997-es Kiotói Egyezményként ismert nemzetközi megállapodás célja, a csatlakozó országok széndioxid kibocsátásainak csökkentése volt, ezáltal a légkör üvegházhatású gázkoncentrációját stabilizálása volt [2][3].

Az egyezmény 2005-ben lépett életbe, a későbbi években pedig egyre több ország csatlakozott. Az éghajlatváltozás egyre inkább bekerült a köztudatba, 2007-től pedig az ENSZ minden évben megrendezi az éghajlatváltozási keretegyezmény konferenciáját (UNFCCC COP). A legutolsó klímakonferenciát Párizsban rendezték 2015-ben, ahol 195 ország közreműködésével született meg az új keretmegállapodás [4]. A napokban (2016. szeptember) pedig olyan jelentős kibocsátók ratifikálták az ott született egyezményt, mint Kína, vagy az Egyesült Államok. Egyértelműen globális feladatról van szó, és mi sem támasztja ezt jobban alá, minthogy az első „felfedezés” óta rengeteg intézkedés született és egyre több szakember, egyre több területen foglalkozik a klímaváltozással valamilyen formában.

Az embert és közvetlen környezetét érintő hatásokról számtalan tanulmány készült és sok vizsgálat zajlik most is. Az Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), vagyis az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület legutóbbi 2014-ben kiadott szintézis jelentésében is számtalan változást fogalmaznak meg, illetve több előrejelzést is adnak a klímaváltozás hatásaira.

Csak néhány hatás, amik alapján befolyásolhatják a földi életet (megbízhatóság fokának kifejezésére öt minősítés szolgál: nagyon alacsony, alacsony, közepes, nagyfokú, nagyon nagyfokú)<sup>1</sup>:

- A sokféle régiót és terménytípust lefedő nagyszámú tanulmány átfogó elemzése azt mutatja, hogy az éghajlatváltozás inkább negatív, mint pozitív hatást gyakorol a terméshozamokra (nagyfokú megbízhatóság). A legtöbb növényfaj képtelen természetes módon olyan ütemben változtatni földrajzi előfordulási helyét, amilyen ütemben az éghajlat jelenleg és a becslések alapján a jövőben változik a területek nagy részén.
- Számos régióban a csapadékváltozás, illetve a hó és jég olvadása módosítja a hidrológiai rendszereket, ami befolyásolja a vízkészletek mennyiségét és minőségét (közepes megbízhatóság).
- A XXI. század közepére és az azt követően előrevetített éghajlatváltozás következtében a tengerben élő fajok globális átrendeződése, biodiverzitásának csökkenése az érzékeny térségekben kihívás elé állítja a halászati termelékenység fenntarthatóságának biztosítását és egyéb ökoszisztéma szolgáltatásokat (nagyfokú megbízhatóság).
- Az évszázad közepére a becslések alapján az éghajlatváltozás hatással lesz az emberi egészségre, főleg azért, hogy súlyosbítja a ma is létező egészségügyi problémákat (nagyon nagyfokú megbízhatóság).
- 2100-ra a magas hőmérséklet és légnedvesség az év egy részében várhatóan együttesen veszélyezteti majd a mindennapos emberi tevékenységeket, beleértve az élelmiszertermelést és a szabadban végzett munkát (nagyfokú megbízhatóság).
- A városi területeken az éghajlatváltozás a becslések szerint növelni fogja a lakosságot, a vagyoni javakat, a gazdaságot és az ökoszisztémákat fenyegető kockázatokat, beleértve a hóhullámokból, a viharokból, a szélsőséges csapadékokból, a folyók menti és tengerparti áradásokból, a földcsuszamlásokból, a légszennyezésből, a szárazságból, a vízhiányból, a tengerszint emelkedésből, és a hirtelen kialakuló viharok keltette hullámokból eredő kockázatokat (nagyon nagyfokú megbízhatóság).

Ezek a példák magukért beszélnek, valamint érzékelhető, hogy a fokozott veszélyt nem is a közvetlen klímaváltozás, hanem a hozzá (akár csak sokadrangúan, más kapcsolatokon keresztül) kötődő, tőle függő dolgok megváltozása jelenti, amik megnehezítik a meglévő rendszerek fenntartását.

Az egyik ilyen, fontos hálózati rendszer a közlekedési infrastruktúra. A mai világ szervezett működéséhez elengedhetetlen a közlekedési és szállítási funkciók biztosítása. Ehhez biztosítani kell a infrastruktúra meglétét, megfelelő kiépítettségét és minőségét. Ez is egy olyan rendszer elem, ami ha sérülést szenved, rendkívül sok egyéb területet érint. A klímaváltozás szempontjából történő vizsgálat is, emiatt kiemelten fontos.

---

<sup>1</sup> IPCC, 2014: Éghajlatváltozás 2014: Szintézis Jelentés, Döntéshozói Összefoglaló

A mai települések már nem az önellátás elvét szem előtt tartva épültek. A mobilitás alapvető részévé vált az életnek. Az első városok kereskedelmi és ezáltal közlekedési gócpontokban alakultak ki, és már akkor felismerték, hogy egy jól kiépített infrastruktúra naggyá tehet egy birodalmat (lásd Római Birodalom úthálózata). Az utak eleinte olyan területeken vezettek át, arra kanyarogtak, ahol kellően kedvezők voltak a környezeti körülmények, hiszen azoktól nagyban függtek. Ez a szempont, a technológiák fejlődésével egyre kisebb hangsúlyt kapott, ahogy leküzdötték a nem megfelelő talajok és a zord időjárási viszonyok problematikáját.

Azonban a különböző klimatikus viszonyok, időjárási jelenségek befolyása, habár csökkent nem tűnt el. Azok megváltozása pedig kritikusan érintheti a közlekedési infrastruktúra minden ágát. Az infrastruktúra sokszínűsége és terjedelme miatt azonban ebben a dolgozatban csak a közúti infrastruktúrát, az őt érintő (többnyire káros) hatásokat vizsgáltam. Úgy vélem, a különböző ok-okozati összefüggés feltárása a klímaváltozás hatásai és az úthálózathoz kapcsolódó károk között, a lehetséges kockázatok, gyengepontok és a következmények megértése az első lépés, egy rugalmas közlekedési infrastruktúra tervezéséhez, építéséhez és üzemeltetéséhez.

A mai mérnököknek ma már ezekre a dolgokra is hangsúlyt kell fektetniük. A közúthálózatban (és a többi közlekedési infrastruktúránál is) szem előtt kell tartani, hogy hosszú távra tervezünk. Utak tervezésénél az engedélyezési tervben szükséges értékelemzéses felülvizsgálatot végezni, amely biztosítja, hogy a tervek megfelelő minősége és élettartam-költsége (amibe beletartozik az élettartam alatti beruházási, üzemeltetési és fenntartási költségek) optimális [5]. Ez pedig szinte egyértelmű utasítás arra, hogy nagyobb figyelmet fordítsunk a szélsőséges időjárási jelenségeknek, ami a minőség drasztikus leromlásához és nagy költségnövekedéshez vezet(het). Az eddig 100 évente előforduló időjárási jelenségek nagyobb valószínűséget kapnak. Árvizek öntik el az eddig biztonságos területeket, a nagy intenzitású esők meghaladják a vízelvezetés kapacitását. Máshol hóhullámok olvasztják meg az utakat.

Dolgozatom célja, hogy közelebbről is bemutassa, érthetőbbé tegye mik a klímaváltozás azon hatásai és kockázatai, amik befolyással vannak a közúti közlekedési infrastruktúrára, valamint hogy feltárja, milyen káresemények alakulhatnak ki a változások kapcsán. Bízom benne, hogy a dolgozatom végére kapott komplex kép, a felvillantott összefüggések hozzájárulnak majd az alkalmazkodáshoz és a leendő mérnökök perspektívájának szélesítéséhez.

## **2. A klímaváltozás jelensége, természeti hatásai, előrejelzések**

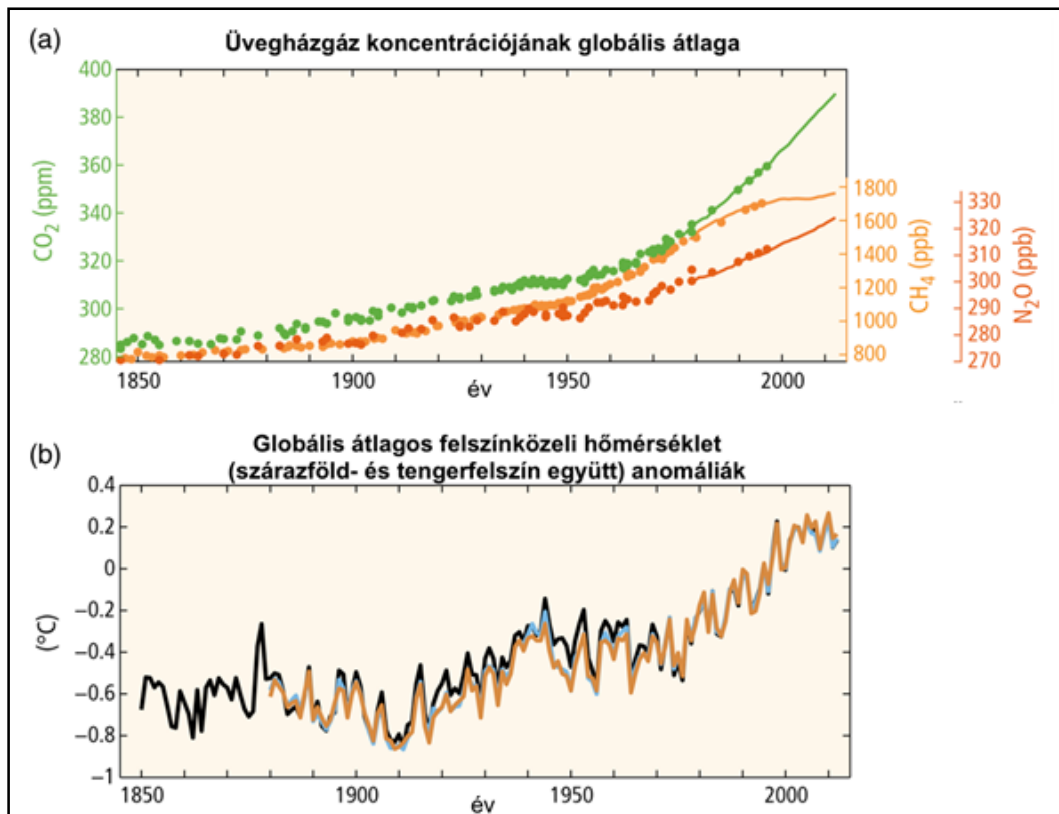
### **2.1. A globális felmelegedés**

Az klímaváltozás fogalmára több definíció is létezik, egy lehetséges megfogalmazás lehet a sok közül a következő: *A klímaváltozás kifejezés, a statisztikailag jelentős adatok átlag értéktől való eltérésére, vagy egy adott időszakon (egy évtizeden, vagy hosszabb távon) belüli változékonyságára utal. A klímaváltozást belső folyamatok, külső erőhatások, vagy egyéb antropogén (a légkör összetételének megváltoztatásával, vagy a terület használatával összefüggő) tényezők idézhetik elő.*<sup>2</sup>

Ez történhet természetes folyamatok vagy külső, általunk nem befolyásolható okok miatt (a vulkáni tevékenység, a napsugárzás erősödése stb.) is, de az emberi tevékenység is eredményezheti. Összességében a Földdel történő változásoknak ezernyi összetevője van. Azonban a globális felmelegedés utóbbi évtizedekben történő felgyorsult változása egyértelműen emberi okokra vezethető vissza [6]. Az atmoszféra és a globális felmelegedés közti szoros összefüggést már középiskolában megtanítják a diákoknak. A napsugárzás elérve a Földet felmelegíti azt, majd az ott elnyelődő és melegítő sugárzás egy része visszasugárzik a világűrbe. A visszaverődő infravörös sugárzás egy részét viszont visszatartja az atmoszféra, egyfajta végtelen ciklust generálva. Erre szükség is van, hiszen ennek köszönhető, hogy bolygónk hőmérséklete konstans jelleggel bizonyos határértékek között marad. Azonban az emberi tevékenység következtében az atmoszférában megnövekszik a szennyezőanyag tartalom. Az üvegházhatású gázok (pl. a szén-dioxid, a metán és a dinitrogén-oxid) légköri koncentrációja az elmúlt 50-80 év tendenciája alapján folyamatosan növekszik. A visszaverődést biztosító réteg így megvastagszik, egyre nagyobb részét tartva vissza a kimenő sugárzásnak. Az atmoszféra pedig felmelegszik, és tulajdonképpen ezt nevezzük globális felmelegedésnek [7]. Az üvegházhatású gázok koncentrációja egyértelműen az emberi tevékenység hatására növekedett meg és növekszik továbbra is. Ennek oka az iparosodás, a gazdasági növekedés és a népességnövekedés. Az pedig kimutatható, hogy ez volt a legfőbb indikátora a XX. század közepétől megfigyelt jelentős felmelegedésnek (megbízhatóság: >95%) [1].

---

<sup>2</sup> Angol forrás: Intergovernmental panel on climate change,  
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/index.php?idp=456>



**1. ábra Az üvegházhatású gázok koncentráció növekedése és a globális átlagos felszínközeli hőmérséklet változás<sup>3</sup>**

Az 1. ábra felső grafikonja az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának növekedését mutatja [szén-dioxid (CO<sub>2</sub>, zöld), metán (CH<sub>4</sub>, narancs) és dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O, piros)], melyhez jégfurat analízisekből nyert adatok (pontok) és közvetlen légköri méréseket (vonalak) használtak fel. Az alsó grafikon a globális átlagos éves felszínközeli hőmérséklet eltérései mutatja (szárazföld- és tengerfelszín együtt), az 1986–2005 közötti időszak átlagához viszonyítva. Az eltérő színek itt különböző adatbázisokat jelölnek.

A két grafikon közötti összefüggés egyértelmű. Ahogy az is, hogy az emberiség is nagyban hozzájárul a klímaváltozáshoz. „Bizonyítékok egész sora mutat szoros, folyamatos és közel lineáris összefüggést a CO<sub>2</sub> összkibocsátás és a becsült globális hőmérsékletváltozás között 2100-ig.”<sup>3</sup> A kérdés csak az mihez kezd az emberiség ezzel a tudással. Fontos megoldást találni a negatív, túl gyors változások lassítására, megállítására, visszafordítására. Azonban, még a legkedvezőbb előrejelzési forgatókönyv teljesítése esetén is, a jelen és a közeljövő változásait már nem tudjuk megszüntetni. Példának okáért, az elmúlt 800 ezer év jégfurat mintáit vizsgálva kiderül, hogy ebben a hosszú időszakban a szén-dioxid koncentráció 170–300 ppm intervallumban mozgott. Az elmúlt két évszázadban viszont a koncentráció 280 ppm-ről 390 ppm-re nőtt és az optimista becslések szerint sem valószínű, hogy a XXI. század végére 560 ppm alatt tartható [8]. (Az értékek értelmezése érdekében, ha a jelenlegi

<sup>3</sup> IPCC, 2014: Éghajlatváltozás 2014: Szintézis Jelentés, Döntéshozói Összefoglaló, Magyar nyelvű kiadás. Nem hitelesített fordítás. Fordítók: Huszár A., Lukács Á., Nyitrai E., Olti M.Á., Radvánszky B., Szúnyoghné Sinkó M.

koncentrációt, a légkör tömegét figyelembe, kifejeznénk szén-egyenértékben: 770 milliárd tonnát kapnánk. Ez a szénmennyiség több, mint a Föld jelenleg ismert, gazdaságosan kitermelhető teljes kőszénvagyon<sup>4</sup>) Vagy az a tény, hogy tengerek szintje még a globális átlaghőmérséklet stabilizálása esetén is évszázadokig tovább fog emelkedni [1].

Elengedhetetlen szükség van a változások minél részletesebb megértésére, az összefüggő kapcsolatok és ok-okozati viszonyok tisztázására, hogy a megfelelően tudjunk reagálni és felkészülni a különböző hatásokra.

## **2.2. A klímaváltozás okozta változások, előrejelzések**

Az IPCC részletes kutatásokat, vizsgálatokat végzett annak érdekében, hogy megértse, milyen változások történtek eddig és hogy minél biztosabb előrejelzésekkel szolgálhasson, mik várhatóak a jövőben.

(Ezen 2.2. fejezet alapjául az IPCC legutóbbi, „Éghajlatváltozás 2014: Szintézis Jelentés, Döntéshozói Összefoglaló” dokumentumát használtam fel [1]. Az egyes értékek, valószínűségek, előrejelzések változtatás nélkül kerültek be. A jelentésben alkalmazott bekövetkezési valószínűségek:

- gyakorlatilag biztos 99–100%-os megbízhatóságnál,
- nagyon valószínű 90–100% esetén,
- valószínű 66–100%-nál,
- bizonytalan kimenetelű 33–66%-nál,
- valószínűtlen 0–33% esetén,
- nagyon valószínűtlen 0–10% értékek között,
- rendkívül valószínűtlen, ha 0–1% közé esik.

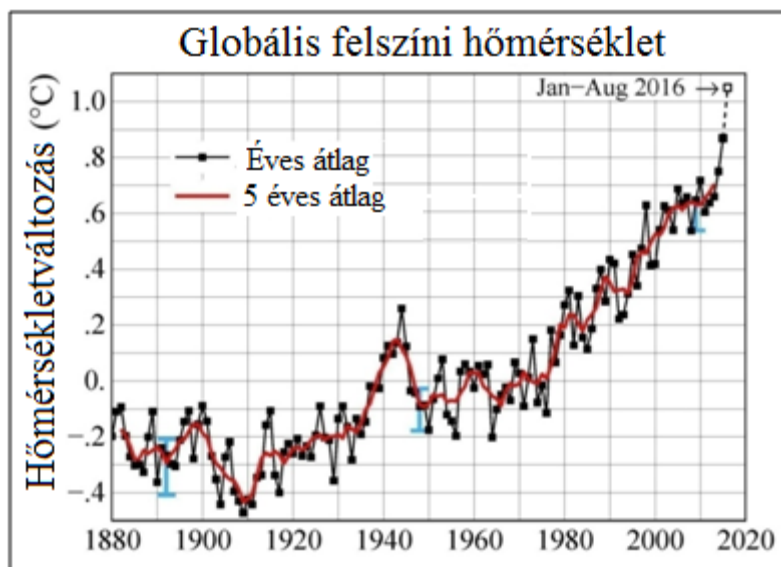
Más forrás alapján készült részeknél az eddig használt forrásmegjelölést alkalmaztam.)

Az előző 2.1. fejezetben már alátámasztottuk, az éghajlati rendszer felmelegedését. Az 1950-es évektől kezdődően az ezredfordulóig tartó évtizedek során sok olyan megfigyelt változás történt, amire évtizedek vagy akár évezredek óta nem volt példa. A légkör és az óceánok melegedtek, a hó és a jégtakaró mennyisége csökkent, a tengerek szintje pedig emelkedett. Az éghajlati szélsőségek újabb keletű hatásai, mint a hőhullámok, aszályok, árvizek, ciklonok és futótüzek azt mutatják, hogy egyes ökoszisztémák és számos ember által létrehozott rendszer, jelentős mértékben sérülékeny és kitett az éghajlat jelenlegi változékonyságának (nagyon nagyfokú megbízhatóság).

---

<sup>4</sup> <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/ff/02-eghajlat/Eghajlat.xhtml> 2016.11.01.

### 2.2.1. A légkör melegedése



**2. ábra A globális felszínközeli levegő átlagos hőmérsékletének változása 1880 és 2012 között. A fekete görbe az éves, a vörös görbe az ötéves átlaghőmérséklet alakulását mutatja. A bázisidőszak az 1951-1980 évek átlaga<sup>5</sup>**

A felszínközeli hőmérséklet emelkedését valamennyi kibocsátási forgatókönyvvel készült modellkísérlet jelzi a XXI. század során. A 2. ábra 1880-tól napjainkig mutatja be a globális, felszíni hőmérséklet melegedését. A globális átlagos felszínközeli hőmérséklet emelkedése 2081–2100-ra az 1986–2005 időszakhoz képest, a lekedvezőbb forgatókönyv szerint valószínűleg 0,3–1,7°C, a legrosszabb forgatókönyv szerint 2,6–4,8°C lesz. Az északi-sarki régió az eddigiekhez hasonlóan, gyorsabban fog melegedni, mint a globális átlag. A becslések készítése során nem számoltak nagyobb vulkánkitöréssel, az üvegházhatású gázok (pl. CH<sub>4</sub> és N<sub>2</sub>O) természetes forrásaiban bekövetkező esetleges változásokkal, és a beérkező napsugárzás váratlan megváltozásával sem.

Eddig kimutatható, hogy globálisan csökkent a hideg nappalok és éjszakák száma, a meleg nappalok és éjszakák száma viszont megnőtt. Gyakorlatilag biztos (99-100%), hogy a globális átlagos felszínközeli hőmérséklet emelkedésével a meleg szélsőségek gyakoribbá válnak és a hideg szélsőségek ritkábban jelentkeznek majd a legtöbb szárazföldi területen, mind a napi, mind az évszaki időskálát vizsgálva. A hőhullámok gyakoriságát vizsgálva Európa, Ázsia és Ausztrália nagy területein gyakoribbá váltak. Nagyon valószínű (90-100%), hogy a jövőben a hőhullámok egyre gyakrabban és hosszán tartóbban fognak előfordulni. Időnként téli hideg szélsőségek azonban továbbra is előfordulhatnak.

### 2.2.2. A jégtakaró és a permafroszt változása

A felszínközeli hőmérséklet növekedése és a hótakaró változása miatt nagy a megbízhatósággal kijelenthető, hogy az 1980-as évek eleje óta az állandóan fagyott területek

<sup>5</sup> Forrás: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>



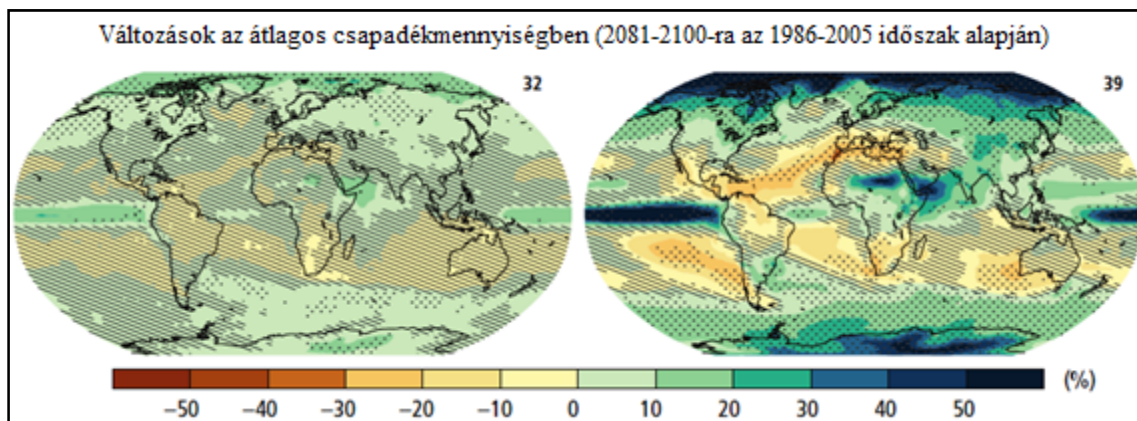
hőmérséklete a legtöbb régióban emelkedik. E következményének tekinthető többek között, a gleccserek csaknem világszerte folytatódó visszahúzódása, az északi féltekén a tavaszi hótakaró kiterjedésének csökkenése vagy az a tény, hogy a grönlandi és az antarktisi jégtakaró veszített tömegéből (vizsgált időszak: 1992–2011). Az erőteljesebb a regionális eltérések azonban itt is megjelennek. Míg az Antarktison egyes régiókban nőtt, addig máshol csökkent a jégtakaró kiterjedése.

Az előrejelzések alapján, az eddig észlelt változások folytatódni fognak. A Representative Concentration Pathways (RCP, Koncentrációváltozás Reprezentatív Pályái) forgatókönyveken alapuló modellbecslések mindegyike az északi-sarkvidék tengereinél a tengeri jég kiterjedésének egész éves csökkenését vetíti előre. Gyakorlatilag biztos (99-100%), hogy a globális felmelegedés következtében, a magas szélességi körökön a felszínközeli permafroszt kiterjedése is csökkenni fog. Az átlagos multi-modellek alapján a felszín közelében, a felső 3,5 m-ben réteg kiterjedésében a csökkenés 37%-tól akár 81%-ig is terjedhet (66-100%).

### 2.2.3. Csapadékmennyiség és intenzitás változása

A csapadék mennyiségi alakulását vizsgálva, 1901 óta az északi félgömbön, a közepes földrajzi szélességek területein átlagosan növekedés tapasztalható (közepes megbízhatóság, hogy 1951 előtt, valamint nagyfokú megbízhatóság, hogy ezt követően). Az előrejelzések alapján, a jövőben, a csapadékmennyiségben bekövetkező változások nem lesznek egységesek. Számos közepes földrajzi szélességi és szubtrópusi száraz területen az átlagos csapadékmennyiség valószínűleg csökkenni fog. A magas földrajzi szélességeken, a közepes földrajzi szélességek csapadékos és a Csendes-óceán egyenlítői területein a csapadékmennyiség növekedése valószínű.

A következő ábra a globális, átlagos csapadékváltozási előrejelzéseket jeleníti meg, az IPCC legoptimistább és a legpesszimistább előrejelző forgatókönyve alapján.



**3. ábra Az átlagos csapadék 2081-2100-ra előre vetített változása (1986-2005 állapothoz képest) a legoptimistább (bal oldal) és a legrosszabb (jobb oldal) forgatókönyv szerint<sup>6</sup>**

<sup>6</sup> 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

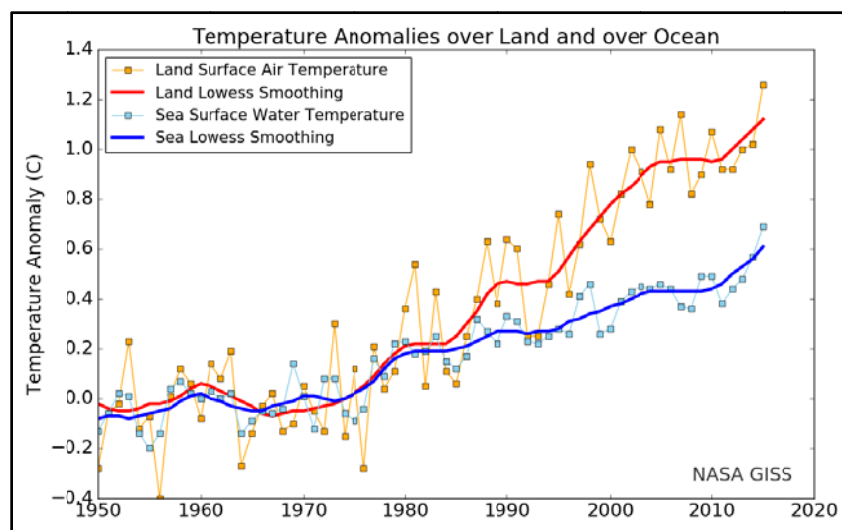


Az intenzitás tekintetében, több az olyan szárazföldi terület, ahol nőtték a heves csapadékkal kapcsolatos események száma, mint ahol csökkennek. A szélsőséges csapadékok gyakoriságának növekedésével együtt jár az egyes vízgyűjtőkben a vízhozamok növekvő trendje, ez pedig regionális léptékben nagyobb árvízi kockázatot jelent (közepes megbízhatóság). A jövőben nagyon valószínű, hogy a nagy csapadékkal járó események egyre intenzívebbé és gyakoribbá válnak majd számos régióban, mint a közepes földrajzi szélességek jelentős részén és a csapadékos trópusi területeken.

#### 2.2.4. Az óceán melegedése és savasodása

Az elmúlt 50 évben az üvegházhatású gázok koncentrációnövekedése miatt megjelenő többletenergia csupán 4%-a maradt a légkörben, 7%-a, illetve 5%-a a tengeri jég és a gleccserek oladására, illetve a szárazföldek melegítésére használódott fel. A többi, az egész 84%-a az óceánnak adódott át, ezzel melegítve azt [8]. Gyakorlatilag biztos, hogy az óceán felső rétege (0–700 m) melegedett 1971–2010 között, és valószínűleg melegedett 1870–1971 között. Az óceánok felmelegedése a jövőbenis folytatódni fog. A melegedés hozzájárul a trópusi ciklonok könnyebb kialakulásához, így azok előfordulási gyakorisága növekedhet a jövőben.

A következő ábrán a Föld szárazföldi területein és a tengerfelszínen mért hőmérsékleti változások átlagát mutatja be. A tengerfelszínen végzett mérések csak az óceánok jégmentes részeire vonatkoztak.



**4. ábra Az éves (vékony vonal) és az ötéves (vastag vonal) hőmérsékleti anomáliák átlaga a Föld szárazföldi területein (piros) és a tengerfelszínen (kék) [csak az óceán jégmentes részeit vizsgálva]<sup>7</sup>**

Bár az óceánok savasodása, mint klímaváltozási hatás, nem igazán érinti a dolgozat tárgyát érintő (közúti) infrastruktúrát, mégis, mivel ez is egy fontos következmény, lényeges legalább említést tenni róla. Az iparosodás korszakának kezdete óta, az óceán által felvett CO<sub>2</sub> az óceán elsavasodását eredményezte. A Föld Rendszer Modellek (Earth System Models, ESM)

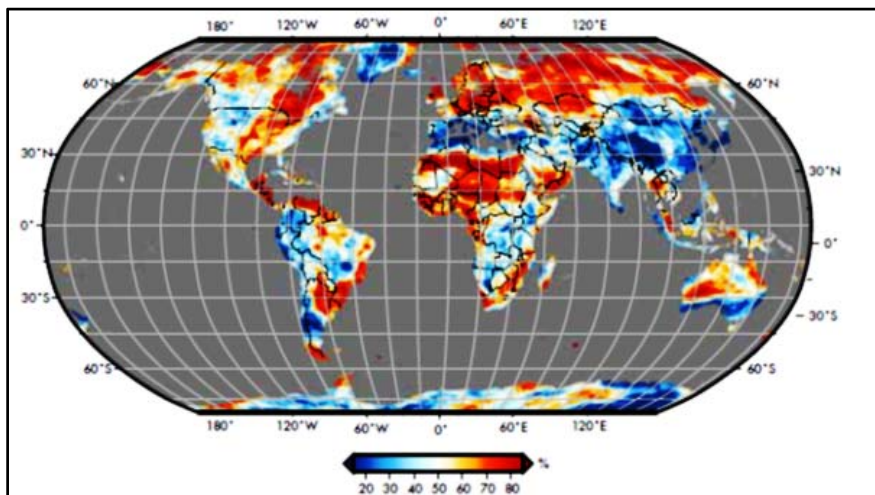
<sup>7</sup> Forrás: NASA, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>

a XXI. század végére a legkedvezőbb forgatókönyvön kívül (ami az évszázad közepétől lassú helyreállást jelez), az összes RCP előrejelzés az óceánok savasodásának fokozódását vetíti előre. Az óceánok pH értékében becsült csökkenés 0,06 és 0,07 közé esik, ami a savasság 15–17%-os növekedését jelenti.

### 2.2.5. Szélsébség

A szélsébségben is jellemzőek a regionális különbségek, azonban emellett az előrejelzések készítését az egyes klímamodellek közti különbségek is nehezítik. Az eltérő változásokat jósló modellek alapján, nehéz egyértelmű következtetéseket levonni. Emiatt a bizonytalanság miatt nem csak az egyes megjósolt előrejelzésekre kell hangsúlyt fektetni, hanem arra is, hogy milyen mértékű egyetértés van az egyes modellek alapján levont következtetések között.[9].

Az 5. ábrán sötétvörös színű területek jelölik azokat a régiókat, ahol a legtöbb modell erősebb felszíni szélsébséget jelez, míg a sötétkék színű területeken a modellek nagy része gyengébb felszíni szélsébséget jelez. A halvány színnel jelölt területen nincs egyértelmű konszenzus a globális klímamodellek között.



**5. ábra A globális klímamodellek százalékos összesítése alapján, az előrebecsülhető éves átlagos szélsébség értékek 2050-ben<sup>8</sup>**

„Éves szinten az éghajlatváltozás várhatóan erősebb felszíni szélsébség értékeket okoz majd az északi féltekén Kanada nagy részén, Szibériában és Észak-Európában, valamint a trópusi és szubtrópusi területeken Afrikában, Közép- és Dél-Amerikában. Azonban Grönlandon, Dél-Európában, Kínában, Indiában, Dél-Ausztrália és Dél-Amerika nyugati partjánál várhatóan csökkennek a szélsébség értékek.”<sup>9</sup>

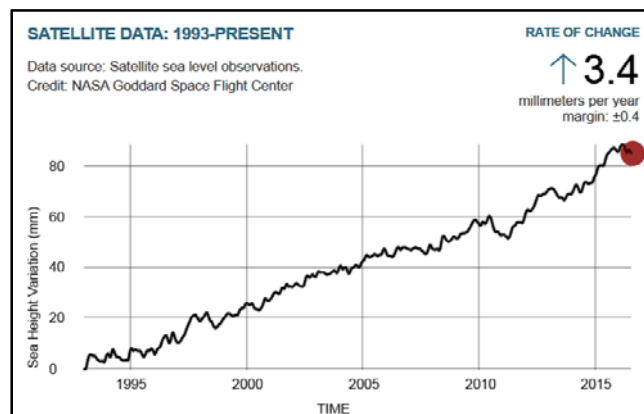
<sup>8</sup> Eichelberger, Scott, James McCaa, Bart Nijssen, and Andrew Wood: Climate Change Effects on Wind Speed. North American Windpower, 2008. Július

<sup>9</sup> Eichelberger, Scott, James McCaa, Bart Nijssen, and Andrew Wood: Climate Change Effects on Wind Speed. North American Windpower, 2008. Július

## 2.2.6. A tengerszint növekedése

Nagyfokú megbízhatósággal kijelenthető, hogy a tengerszint emelkedésének üteme a XIX. század közepe óta nagyobb, mint az átlagos ütem az azt megelőző két évezredben. Összesen, 0,19 (0,17–0,21) méterrel növekedett 1901–2010 között a világtengerek közepes szintje. Az emelkedéshez több minden hozzájárult, köztük óceán hőtágulása a melegedés miatt vagy a gleccserek és a grönlandi illetve antarktiszi jégtakaró, olvadása. A közepes szint növekedésének nagy szerepe van a szélsőséges tengerszintek (például viharok által keltett hullámok miatt) növekedésében, amik 1970 óta követhetők nyomon.

A következő ábrán a tengerszint növekedése látható, 1993-tól napjainkig.



6. ábra Tengerszint növekedése 1993-tól napjainkig<sup>10</sup>

A XXI. század során a tengerszint emelkedése, bár nem lesz egységes az egyes régiókban, a globális átlagot tekintve folytatódni fog. Méghozzá nagy valószínűséggel (90-100%), az 1971–2010 között megfigyeltnél gyorsabb ütemben. A legkedvezőbb forgatókönyv szerint 2081–2100-ra (1985–2005. közötti értékekhez viszonyítva) az emelkedés 0,26–0,55 m közé fog esni, míg a legrosszabb esetben akár a 0,85 m emelkedést is elérheti. A XXI. század végére az óceánok területének több mint 95%-án emelkedni fog a tengerszint (90-100%).

Egyértelmű hogy ez a növekedés kritikusan érinti tenger menti szárazföldi területeket. A regionális különbségek itt is megmutatkoznak, világszerte a partvonalak mintegy 70%-át, +/-20%-os eltéréssel fogja érinteni a tengerszint megváltozása, a globális átlagos változáshoz képest.

<sup>10</sup> Forrás: NASA's Jet Propulsion Laboratory, Earth Science Communications Team, California Institute of Technology <http://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> 2016.10.21.

### **3. A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára**

A korábban ismertetett éghajlati változások mind jelentős befolyással bírnak az ember által létrehozott és a természeti rendszerekre. Az éghajlatváltozás hatásairól szóló publikációk egyre kiterjedtebb tudásbázisra támaszkodnak és a szakpolitikában is egyre nagyobb hangsúlyt kap a közlekedési infrastruktúra klímaváltozáshoz való adaptációja. Az EU fehér könyve, „Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás: egy európai fellépési keret felé” fel is hívja rá a figyelmet, hogy: „*A döntéshozók felelőssége megérteni ezeket a hatásokat, és olyan szakpolitikákat alkotni, véghezvinni, amelyek optimális alkalmazkodást tesznek lehetővé.*”<sup>11</sup> Fontos azonban tisztázni, hogy ahhoz, hogy egy adott hatásért az éghajlatváltozást tegyék felelőssé, komoly tudományos bizonyítékok szükségesek. Nem szabad sem kisebb, sem nagyobb befolyást tulajdonítani a megváltozott klimatikus viszonyoknak mint amivel ténylegesen bírnak. Meg kell maradni egy objektív, nyitott és ésszerű látásmódnál. Tisztában kell azzal lenni, hogy bár viszonylag megbízható előrejelzésekkel rendelkezünk, bármikor bekövetkezhet egy váratlan fordulat, ami miatt ezek eltolódnak, átértékelődnek. Ezen kívül realizálni kell, hogy továbbra is számos olyan régió, rendszer és folyamat van, amikről csak korlátozottan vannak információink, és ez rávilágít az adatokban és vizsgálatokban lévő esetleges hiányosságokra. Egyes természeti események okozta károk rendszerint hasonló módon jelentkeznek a vizsgált rendszerekben, azonban bizonyos kockázatok csak egyes régiókat érintenek míg vannak olyanok, amikkel mindenhol számolni kell. Ezen diverzitást figyelembe véve, a hatásokat minden területre külön kell figyelembe venni, és értékelni, hogy ott épp, mi jelent(het) veszélyt [1].

A közlekedési infrastruktúra, bár kiterjedése, minősége és sokszínűsége változó mértékű az adott régiótól függően, mégis, valamilyen formában minden ember által lakott területen megtalálható. Egyértelműnek tűnik emiatt, hogy a benne bekövetkező leromlások nyomon követése is mindenhol megjelenik. A klímaváltozás hatásai a közlekedési infrastruktúrát ugyanúgy, ha nem még jobban, befolyásolják, mint az élet többi területét. „Ebből következnek a szállítási szektorban az éghajlatváltozást jobban figyelembe vevő gazdasági és fejlesztési politikák. A klímaváltozás hatásait mérséklő, hatékony adaptációs stratégiák feltétele a szakpolitika, az infrastrukturális beruházások és a kollaboratív kutatási tevékenység összehangolása.”<sup>12</sup>

A közlekedési infrastruktúra tág területét az alábbi különböző részágakra tudjuk felosztani:

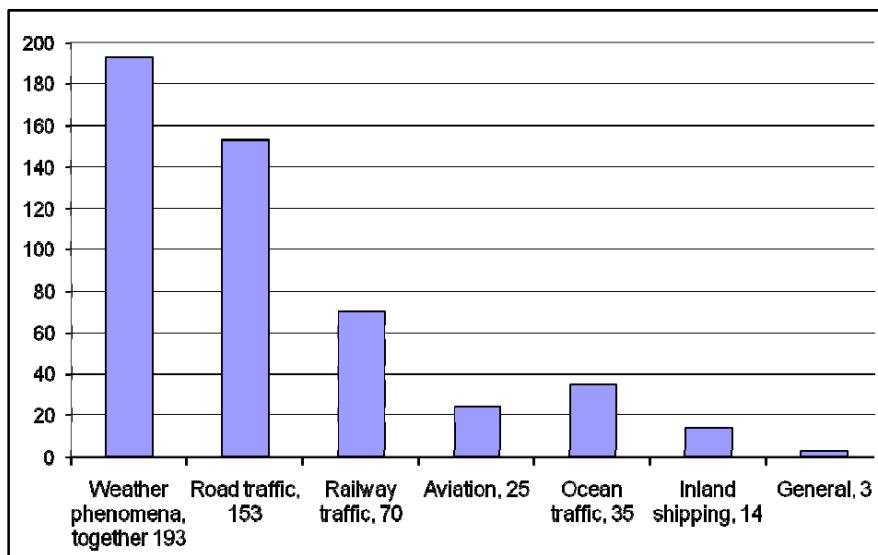
- Közúti közlekedés
- Vasúti közlekedés
- Légi közlekedés
- Vízi közlekedés (belvízi és tengeri)

---

<sup>11</sup> WHITE PAPER, Adapting to climate change: Towards a European framework for action, Brussels, 1.4.2009 COM(2009) 147 final

<sup>12</sup> Velegrakis A.F. (2014): Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks. Expert group report by UNECE, University of the Aegean, Greece

A közlekedési infrastruktúrákat a klímaváltozáson belül, legérzékenyebben a szélsőséges időjárási jelenségek érintik. Ezekre ugyanis nagyon nehezen lehet felkészülni, viszont rövid időn belül nagyon nagy károkat okozhatnak. Az EWENT projekt, európai országokban<sup>13</sup>, adott vizsgált időintervallumra összegyűjtötte a média-adatbázisokban talált összes olyan hírt, amelyben extrém időjárási jelenségek befolyással voltak a közlekedési rendszerekre. Az adatbázis alapján az összes időjárási jelenségek 79%-a volt hatással a közúti közlekedésre, 36%-a a vasúti közlekedésre, és csak 13%-a a légi közlekedésre. 25% volt a befolyás az óceáni és a belvízi hajózásra (7. ábra).



7. ábra A vizsgált időjárási jelenségekről szóló jelentések és azok főbb kihatási területei<sup>14</sup>

Fontos észrevétel, hogy a vizsgált extrém események nagy része télen következett be, és csupán egy negyede történ a nyári hónapokban.

A megvizsgált események több mint a fele kapcsolódott erős szélhez, intenzív esőzéshez vagy havazáshoz. Az alacsony vagy épp a magas hőmérséklet, a jégeső, a köd és a rosz látásviszonyok, az erős esőzés miatti földcsuszamlás mind 4-10%-os hatással voltak a közlekedésre [10].

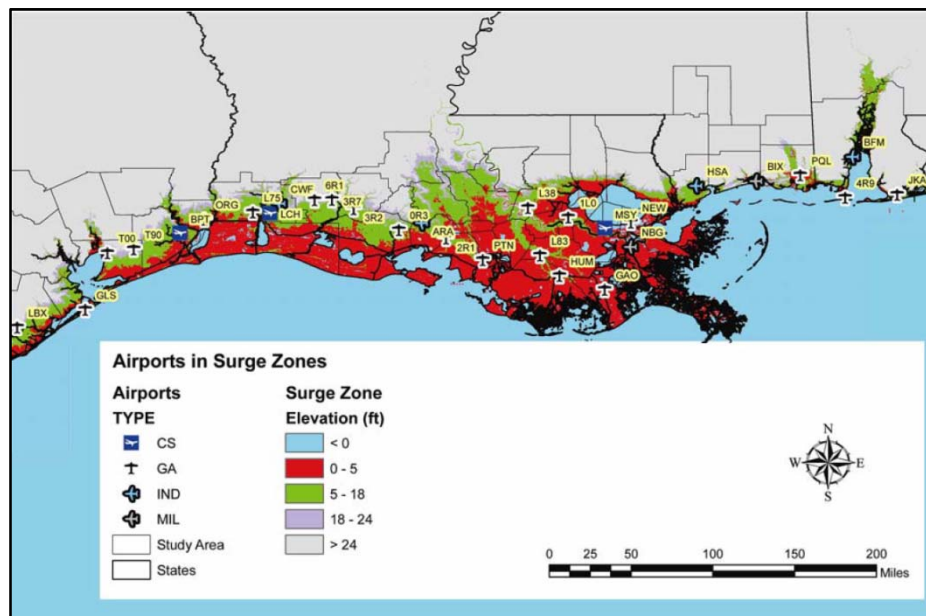
2-2 példa, ami a közlekedési infrastruktúra különböző ágait érintheti:

- Vasúti közlekedés:
  - A magas hőmérsékleti szélsőségek következtében gyakoribbá válhatnak a sínkivetődések.
  - Nagy esőzések miatti a pályára omló sárlavina megakadályozza a közlekedést és eltömíti az ágyazatot.
- Légi közlekedés:
  - Gyakoribbá és hevesebbé válhatnak a repülőgépeket megrázó turbulenciák.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> Anglia, Németország, Finnország, Svédország, Franciaország, Spanyolország, Görögország és Magyarország

<sup>14</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

- A tengervízszint növekedése előltheti a partmenti reptereket ideiglenesen használhatatlanná téve azokat. A következő ábra egy a Mexikói öbölt vizsgáló amerikai tanulmányból származik [11], és egy vizsgált partszakaszon mutatja be a repterek elhelyezkedését, különböző színekkel jelölve az elöntési szinteket ( 1 ft/1 láb = 0.3048 méter).



**8. ábra Gulf Coast tanulmány szerint vizsgált terület veszélyeztetett repülőterei, az elöntés miatt<sup>16</sup>**

- Vizi közlekedés:
  - A magas vízállás, illetve a viharos hullámszás előltheti a kikötőket működésképtelenné téve őket.
  - Ha bizonyos hajótípusok a vízszint növekedése miatt már nem tudnak biztonságosan áthaladni némely kis úsztatási magassággal rendelkező hídnál, akkor korlátozni kell az áthaladó járművek maximális méretét és ez befolyásolni fogja a hajóforgalmat.

<sup>15</sup> <http://mno.hu/tudomany/klimavaltozas-veszelyesse-valhat-a-repules-1150237>, Lehívva: 2016.11.02.

<sup>16</sup> Savonis, M.: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase, I, U.S. Climate Change Science Program, 2008

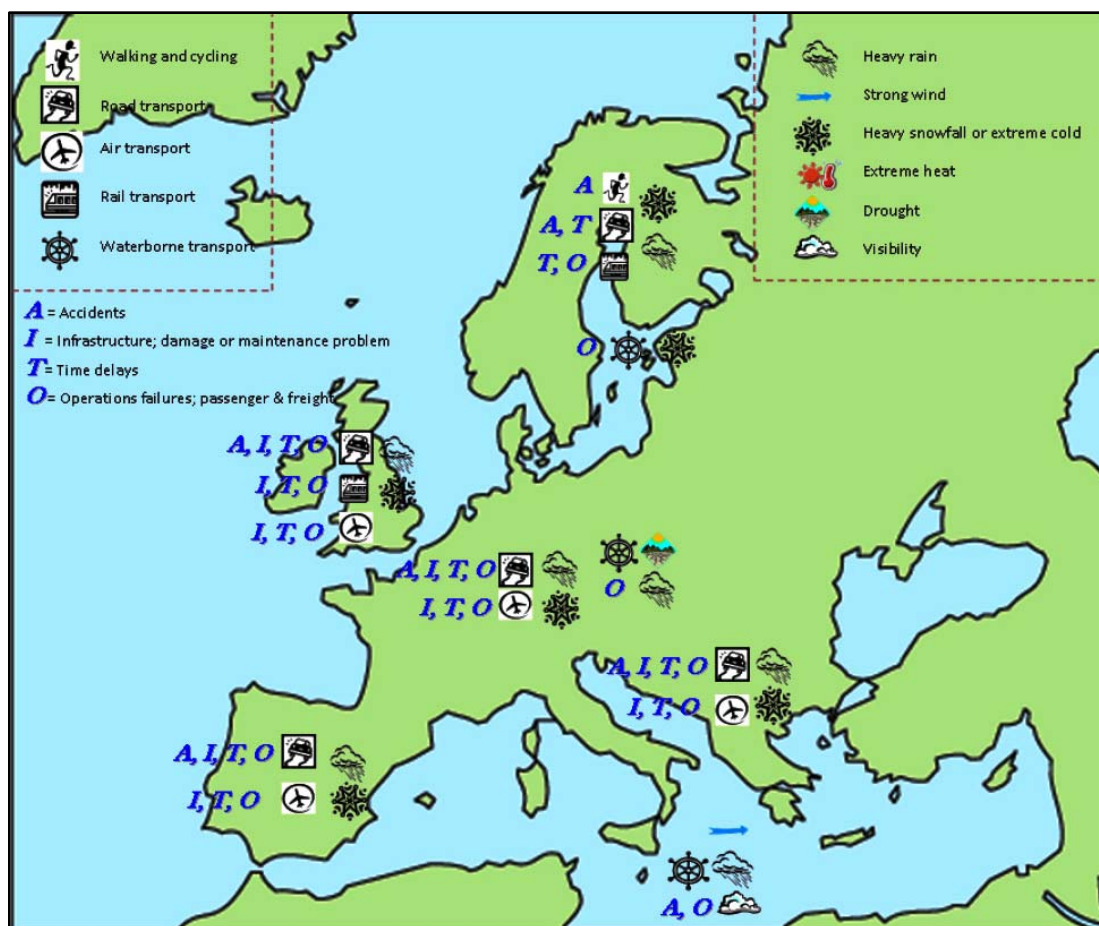


A már korábban említett Európát vizsgáló finn tanulmány [10] elkészített egy "extrém időjárási hatás térképet" ami, bár egyértelműen egyszerűsítések alapján, de szemléletesen ábrázolja, hogy mik az egyes területeken a különböző időjárási jelenségek okozta a leghangsúlyosabb káresemények (9. ábra).

A következmények prioritási sorrendje ezen tanulmány szerint a következő:

1. prioritás: A balesetek okozta veszteségek és sérülések (A - Accidents)
2. prioritás: Az infrastruktúra sérülése vagy összeomlása (I - Infrastructure)
3. prioritás: Időbeli késedelem (T - Time)
4. prioritás: Nehézsége az optimális üzemeltetésben (O - Operations).

Az időjárási jelenségek a hozzájuk kapcsolódó leggyakoribbak a szélsőségek ikonjaival jelennek meg, ami a következők: heves esőzés, nagy havazás, extrém szél, extrém hőmérséklet, szárazság és a látási viszonyok.

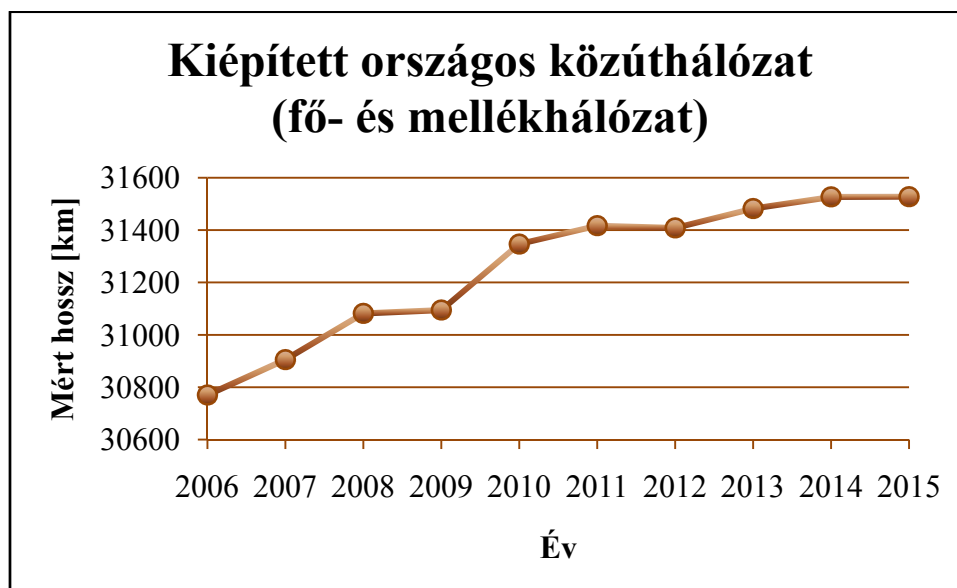


9. ábra A kritikus időjárási jelenségek összefoglaló térképe, régióként jelölve a legkritikusabb jelenségeket, infrastruktúrákat illetve káreseményeket (Európában)<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

#### **4. A magyar közúthálózat jelenlegi helyzete, adatforrások**

A magyar állami közúthálózat igen kiterjedt és sokrétű, fenntartásáért és üzemeltetéséért a Magyar Közút Nonprofit Zrt. (továbbiakban Magyar Közút) felelős. Fő jellemzőit tekintve, Magyarország útállománya közutakra és magánutakra oszlik. „A közutak állami tulajdonú országos közutak és önkormányzati tulajdonú helyi közutak. Az országos közutak hossza 31 805 km. A helyi közutak hossza 167 407 km. Az országos közúthálózat bonyolítja le az ország teljes közúti forgalmának mintegy 75 %-át. Az országos közutakból 8745 km a főhálózat, melyből 2 347 km "E" út, vagyis az európai úthálózat része. A gyorsforgalmi úthálózat (autópályák, autótutak) hossza 1 366 km, autópálya csomóponti ágakkal együtt pedig 1 804 km. Az országos közutak hosszának 27 %-a településeken halad keresztül, tehát a települések helyi forgalmának lebonyolításában is jelentős szerepet játszanak. Az országos közutakon 7 529 db híd, 1 793 db közúti-vasúti keresztezés (melyből 1 448 db szintbeli, ebből 63 db biztosítás nélküli) van, ezen kívül 8 715 db közúti csomópont és 5 503 db szintbeli gyalogos átjáró található.”<sup>18</sup> A következő ábra az országos közúthálózat hosszának növekedését mutatja 2006-tól 2015-ig. Ez a jól látható növekedés is alátámasztja, mennyire fontos, nélkülözhetetlen szerepet tölt be. Ennek egyértelmű vonzata, hogy vele való folyamatos foglalkozás, az őt érintő hatások vizsgálata feltétlenül szükséges minden téren, így a klímaváltozás kapcsán is.



**10. ábra A magyar közúthálózat hosszának változása (2006-2015)<sup>19</sup>**

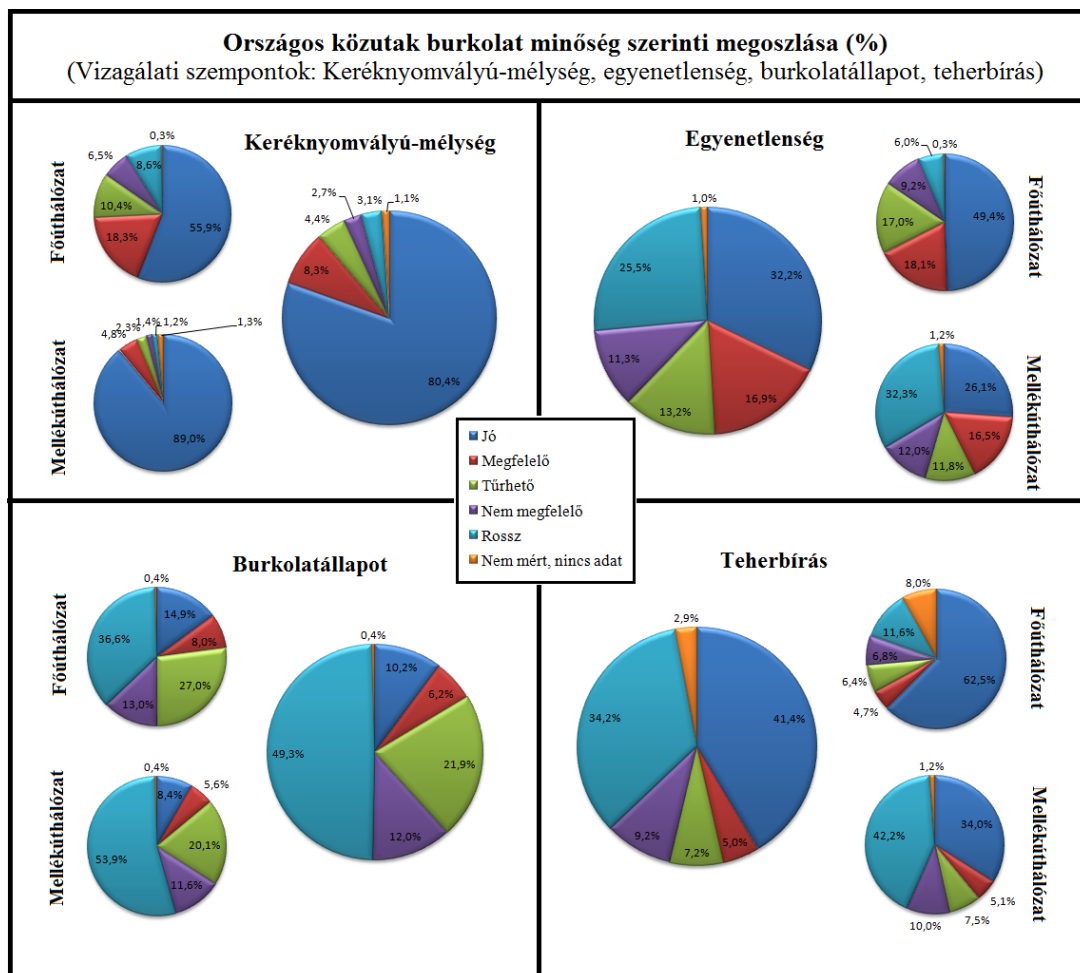
A Magyar Közút az üzemeltetési és fenntartási folyamatok egyszerűsítése és korszerűsítése érdekében több programot is használ. Az egyik ilyen különösen hasznos program az OKA 2000. Ez a Magyar Közút kezelésében lévő utak, valamint az autópályák műszaki alapadatainak nyilvántartására, karbantartására kialakított „Országos Közúti Adatbank” rendszer. Benne megtalálható a közutak minden lényeges információja, amik az

<sup>18</sup> <http://internet.kozut.hu/Lapok/kozuthalozat.aspx> Lehívva:2016.08.30.

<sup>19</sup> Adatforrás: <http://internet.kozut.hu/Lapok/kozuthalozat.aspx> Lehívva:2016.08.30.



üzemeltetéshez, fenntartáshoz, tervezéshez elengedhetetlen. Az adatbank egyszerre tárolja a jelenlegi helyzetet leíró információkat illetve minden előzetes, az úton illetve az úttal történt cselekményt (balesetek, felújítások stb.). Ilyen adatok például az utak vízszintes és magassági vonalvezetése, a pályaszerkezetük és burkolatuk típusa illetve felépítése, az építés és felújítás éve(i), a keresztmetszeti forgalmak vagy a nyomvályú és teherbírás osztályzatok. Habár a rendszer csak 2003-ban került bevezetésre, a korábbi évekből is találhatóak adatok benne. Az adatbank az adatok tárolásán és kereshetőségén kívül képes az elemzések egy részét térképen is megjeleníteni. Ezek az adatok az úthoz kapcsolódó bármilyen elemzéshez elengedhetetlenek. A következő ábrán a magyar közúthálózat besorolása látható, különböző burkolati jellemzők szerint. A nagy diagramok a teljes közúthálózat összesített százalékos eloszlását mutatja, míg a kisebbek külön a fő- és mellékúthálózatot. A fő- és mellékúthálózat elkülönítése jól mutatja, hogy mekkora különbségek is lehetnek a burkolati osztályozásnál.



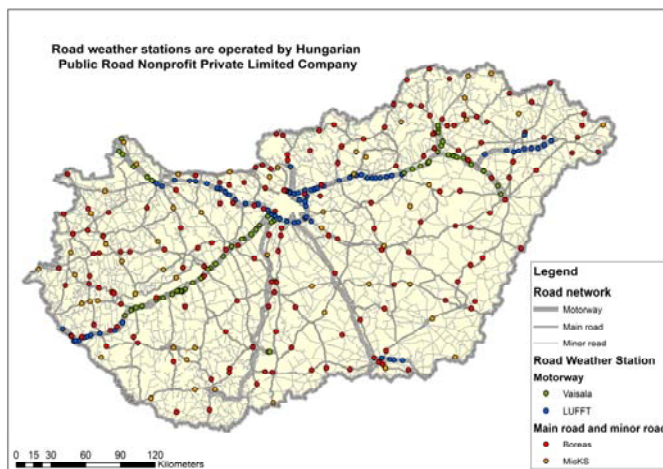
11. ábra Országos közutak (fő- és mellékúthálózat) burkolati minőség szerinti megoszlása (2015.12.31.)<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Adatok forrása: Magyar Közút Nonprofit Zrt., <http://internet.kozut.hu/Lapok/kozuthalozat.aspx>

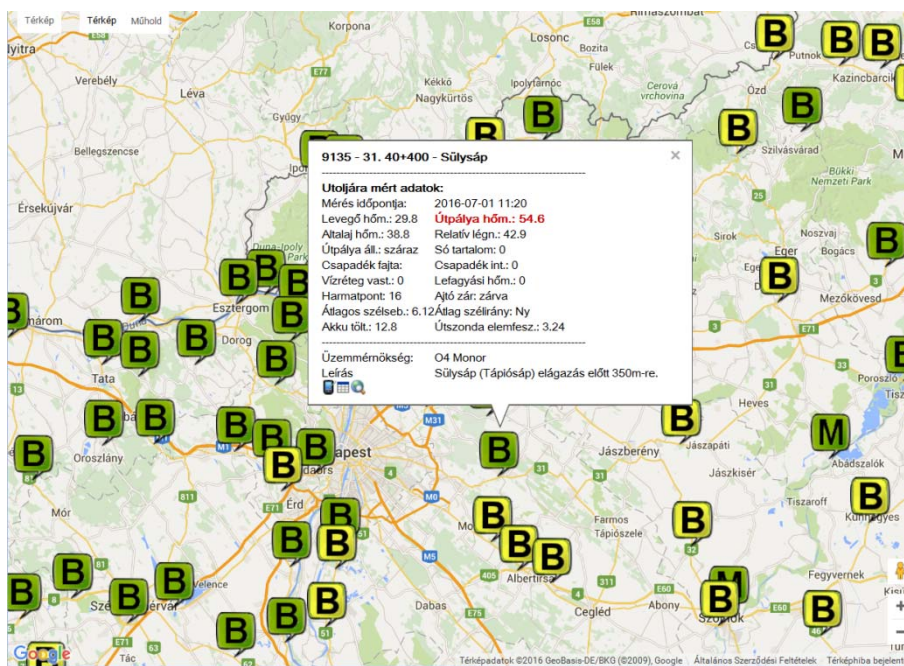
Ezen tanulmány szempontjából fontos lehet még a Magyar Közút által alkalmazott ÚTMET rendszer. Magyarországon 254 közúti (gyártó: Boreas, MicKS) és 133 gyorsforgalmi (gyártó: LUFFT, Vaisala) meteorológiai mérőeszköz van kihelyezve. Ezen műszerek célja, hogy objektív adatokat nyújtsanak az útállapotról és az időjárásról, az ÚTMET program segítségével pedig ezeknek a mérőműszereknek adatai jeleníthetők meg, akár visszamenően is. A klímaváltozás magyar közútra gyakorolt hatásainak vizsgálatához elengedhetetlenek a műszerek mérési eredményei és ÚTMET rendszerben való tárolásuk, visszakereshetőségük. Néhány mérési adattípus, ami fontos lehet az ilyen témájú vizsgálatokhoz:

- Levegő hőmérséklet ( $-40\dots+50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Útpálya hőmérséklet ( $-40\dots+80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Só tartalom ( $0\dots95\text{ \%} \pm 2\text{ \%}$ )
- Csapadékfajta (szilárd, cseppfolyós)
- Csapadék intenzitás ( $0\dots100\text{ mm/h} \pm 0,5\text{ mm/h}$ )
- Lefagyási hőmérséklet
- Átlagos szélesség

A következő két ábra a meteorológiai mérőműszerek elhelyezkedését mutatja Magyarországon, valamint az ÚTMET rendszer térképes megjelenítő felületét egy tetszőlegesen kiválasztott mérőállomás (Sülysáp) adataival.

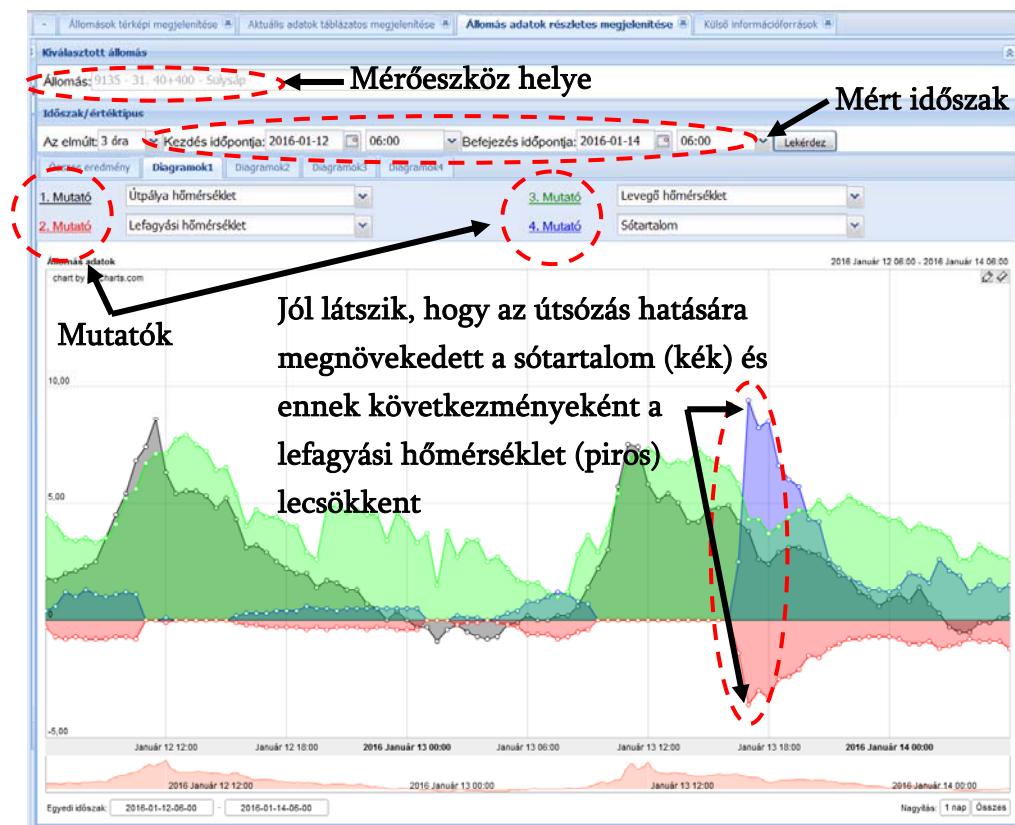


12. ábra Meteorológiai mérőműszerek eloszlása a magyar közúthálózat mentén



13. ábra Az ÚTMET rendszer térképes megjelenítő felülete egy adott állomás adataival

Az ÚTMET rendszer grafikus elemző felülete látható a következő ábrán. A program képes a mért adatokból grafikonokat készíteni, beállított 4 paraméter és tetszőleges időintervallum alapján. A következő ábrán lévő példában két egymást követő téli napon (2016.01.12.-2016.01.14.) vizsgáltam, az útpályahőmérséklet (szürke), a lefagyási hőmérséklet (piros), a levegő hőmérséklet (zöld) és a sótartalom (kék) adatokat.



14. ábra Példa az ÚTMET rendszerben végzett grafikus elemzésre

Ezen programok mind segítséget nyújthatnak egy későbbi, részletes kutatáshoz, amely speciálisan a magyar közúthálózatban bekövetkező klímaváltozási hatásokat vizsgálja, és amely ezáltal konkrét iránymutatást adhat majd a szükséges teendők tekintetében.

## **5. A közúti infrastruktúrában keletkezett károk, ok-okozati összefüggések**

Az összes infrastruktúra rendelkezik egyfajta hálózati jelleggel. Ez alatt azt értjük, hogy valamilyen összefüggő rendszerben különböző útvonalak és csomópontokat, célállomásokat kapcsolnak össze. Azonban ha a hálózat egy része megsérül, és a működési zavarok miatt esetleg össze is omlik, akkor az a többi részegységet, és így az egész hálózatot érintik. Ha a meghibásodott rész kiváltása, és a rendszer más elemeire történő átterhelés túl nagy, az a hálózat bénulásához vezethet. A közúti infrastruktúrát tekintve a vizsgált hálózat lehet csak maga az úthálózat, ahol a tehermentesítés csupán egy másik útra történik. Távolabbról nézve, viszont fontos része az összes közlekedési infrastruktúrát felölelő hálózatnak, ahol a kiváltás már egy másik közlekedési nemmel történik. Ebből a szemszögből, tisztán látszik, hogy az utak állapota nem csak az úthálózatra van befolyással. A közúthálózat karbantartása, az őt érintő mostani és jövőbeli hatások megismerése az egész rendszer működéséhez elengedhetetlen, kiemelt fontosságú feladat.

„A közlekedési infrastruktúrák közül a közúti közlekedés tűnik a legsérülékenyebbnek. Ennek egyszerű indokai vannak. Egyrészt az utakon a legnagyobb a forgalom, a rendelkezésre álló kapacitás, főleg a sűrűn lakott területeken, nagyon korlátozott. Emiatt egy kisebb zavar is gyorsan, nagy káoszt teremthet a városi autópályákon. Másrészt a közúti közlekedés a legkevésbé ellenőrizhető és irányítható. Míg a légi irányítási vagy a vasúti forgalmi irányítási központ gyorsan tud korrigálni, alkalmazkodva a kialakult helyzethez, addig a közúti forgalom egy térben kiterjedt, decentralizált, ezáltal lassan adaptálódó rendszer marad.”<sup>21</sup>

Az úthálózat infrastruktúráját befolyásoló hatások vizsgálatakor azonban először szükséges különválasztani, illetve konkretizálni, milyen szempontok szerint is értelmezhetjük a közlekedési rendszert. Egy finn tanulmány<sup>22</sup> erre három nézőpontot ajánl:

- Infrastruktúra: a fizikai infrastruktúrában keletkezett közvetlen anyagi károk és leromlások
- Üzemeltetés: a közlekedésbiztonságát és a közlekedés megbízhatóságát (mind a teher- és személyszállítás tekintetében) veszélyeztető hatások
- Közvetett hatások illetve harmadik személyek: például az ellátási láncban lévő ügyfelekre illetve az ipari szereplőkre való kihatás

Dolgozatomban elsősorban az infrastruktúra fenntartásával, a különböző környezeti externáliák következményeivel illetve kisebb hányadban az üzemeltetés biztonságával foglalkozom. A többi szempont, tényezőre főleg csak kitekintés jelleggel, elvétve utalok. A közúti közlekedésben bekövetkező változásokat és károkat, az őket kiváltó környezeti hatások alapján rendeztem. Azonban fontos megjegyezni, hogy legtöbbször egy-egy káreseménynek több indikátora is van, valamint az időjárás elemek közvetett hatásai sokszor nehezen kézzelfoghatók. Az osztályozás alapjául, kiindulópontként *Dr. Gáspár László: A*

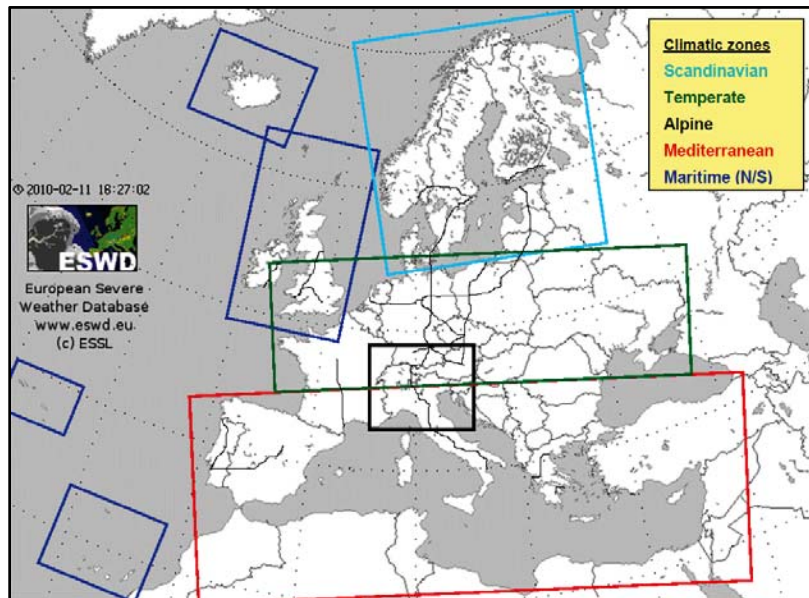
---

<sup>21</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

<sup>22</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

*klímaváltozás és az útburkolatok* című cikkében leírtakat használtam fel.<sup>23</sup> Ezt egészítettem ki és bővítettem tovább.

Több alpontnál is felhasználom az EWENT projekt előrejelzéseit. A tanulmányban, a még pontosabb előrejelzések érdekében Európát különböző klimatikus zónákra osztotta, melyek a 15. ábrán láthatóak.



15. ábra EWENT projekt, Áruszállítási folyosók Európában<sup>24</sup>

## 5.1. Légköri melegedés, magas hőmérsékleti szélsőségek

A klímaváltozás területileg nem egyenletesen megy végbe. A pólusok közelében a hőmérséklet gyorsabban emelkedik, mint az egyenlítő környékén. A melegedés jelentős befolyással bír a közúti infrastruktúrára és közlekedési szolgáltatásokra. A permafroszt (tartósan fagyott talaj) olvadása, a hőmérséklet változékonysága, a hóhullámok és szárazságok hatása mind meglehetősen pusztító lehet.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat az Magyarország éghajlatváltozásának vizsgálatával foglalkozva hasonló konklúziót fogalmazott meg, mint ami a globális tanulmányokban szerepel: „A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) számának csökkenése és a hőség napok (napi maximumhőmérséklet  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ) számának növekedése egyaránt a melegedő tendenciát jelzi (16., 20. ábra). A hűvösebb és a melegebb periódusok az indexek értékeiben is megnyilvánulnak, de a nyolcvanas évektől szembeutó az extrém meleg időjárási helyzetek gyakoribbá válása. A szélsőséges hőmérsékletekben bekövetkezett változásokat jellemző trend értékek arra utalnak, hogy a klíma megváltozása a meleg szélsőségek egyértelmű

<sup>23</sup>Dr. Gáspár László: A klímaváltozás és az útburkolatok közúti és mélyépítési szemle, 2007.március, pp. 1-6.

<sup>24</sup> Extreme weather impacts on European networks of transport, EWENT Project Deliverable 3.4 Consequences of extreme weather, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011



növekedésével és a hideg szélsőségek csökkenésével jár a teljes múlt századot is felölelő időszakban.”<sup>25</sup>

Az alábbi táblázatban szereplő különböző magas hőmérsékleti küszöbértékek és a mellettük kifejtett hatások, következmények segítenek jobban átlátni, milyen fizikai tartalom állhat egy-egy számérték mögött.

<b>Magas hőmérséklet – napi legmagasabb hőmérséklet</b>		
<b>Küszöbérték</b>	<b>Hatások</b>	<b>Következmények</b>
≥ 25°C	Bágyadtság lép fel a buszsofőröknél és a teherautó sofőröknél.	Nagyobb az esélye a karamboloknak a közúti közlekedésben.
≥ 32°C	A burkolat károsodik, a közlekedés miatti érintkezés hatására lágyul, jellemző a folyékonyvá váló aszfalt kúszása illetve az úttest kihajlása.  Korlátozások az útfenntartásban és az építkezéseken.	Megnövekedett baleseti kockázat, késések, elterelések.
≥ 43 °C	A vasúti szerelvények károsodnak, a vasúti pályák meghajlanak, a hőség kimerülést okoz.	Megnövekedett baleseti kockázat, késések, elterelések.

**1. táblázat Magas hőmérsékleti küszöbértékek<sup>26</sup>**

Az fokozott ütemű melegedés, a klíma gyors változása többek között út mentén telepített növényzetet is érintheti, mivel azok nem feltétlenül tudnak azonos ütemben változni és alkalmazkodni. Emiatt funkciójukat sem tudják majd ellátni (pl. télen a hófogó szerep, forgalmi sávok közti elválasztás stb.). Előtérbe kerül az a feladat, hogy a szűk tűrőképességű növények helyébe új, tágabb tűrőképességű növényeket telepítsenek [12].

### **5.1.1. Pályaburkolatok deformáció-veszélye**

Az aszfalt és a beton burkolat típusok különböző mértékben érzékenyek a hőmérsékletre. A beton kitágul és összezsugorodik a hőmérsékletváltozás hatására. A direkt ebből a célból kialakított dilatációs hézagok a burkolat tönkremenetele nélkül tudják kezelni a hőtágulást. Egy amerikai tanulmány kutatásai kimutatták, hogy a betonkeverék köváz térfogata, a zúzalék és a homok típusa mind befolyásolják a beton hőtágulási tulajdonságait [13]. Előfordulhat

<sup>25</sup> Forrás: OMSZ, [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarorszag/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/) lehívva: 2016.09.10.

<sup>26</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

azonban, hogy a magas hőmérséklet hatása miatti nagy hőtágulást nem képesek kezelni a dilatációs rések, ekkor a beton kihajolhat, megrepedezhet.

Az aszfalt máshogy viselkedik, hőmérséklet hatására a burkolaton nyomvályúk és gyűrődések keletkeznek, az utak meggyengülnek szerkezetileg. Egyaránt hatással lehet rá a burkolat összetétele (lággyabb bitumen hamar lággyá válik), a nehézgépjármű forgalom vagy éppenséggel a burkolat életkora.

A magas léghőmérséklet (pl.: a nyári meleg) egyik veszélye, hogy az útpálya deformálódhat. *„Részben hosszirányú hullámok jelentkeznek, részben pedig – és ez a gyakoribb a hazai utakon – keréknyomvályúk alakulnak ki. Ez utóbbiak mélysége aztán fokozatosan olyan méreteket ölt, amely – különösen nagyobb eső után – az úton való közlekedést balesetveszélyessé teszi; így a valamilyen technológiával történő felújítás elengedhetetlenné válik.”*<sup>27</sup> Továbbá, a magas hőmérsékleten lággyuló aszfalt kúszása is megjelenik.

Az utak különböző hőmérséklet érzékenységi tulajdonságait vizsgálva fontos tehát szem előtt tartani, aszfalt vagy beton burkolattal kell-e foglalkozni! Alapvetően azonban kijelenthető, hogy megnövekedett hőmérséklet hatására a mai felhasznált anyagok és technológiai eljárások gyorsabb ütemben mennek majd tönkre, kevésbé tudják a szélsőséges hőingadozásokat elviselni.<sup>28</sup>

A következő képen néhány burkolati hibát mutat be, melyek kialakulásához nagyban hozzájárultak a klimatikus hatások is. A kép Budapesten, a X. kerület, Vaspálya utca, 151-es busz (Csepel felé) Vaspálya utca megállójánál készült.



**1. kép Nyomvályú, repedés, törés, leendő kátyú az útpályaburkolaton<sup>29</sup>**

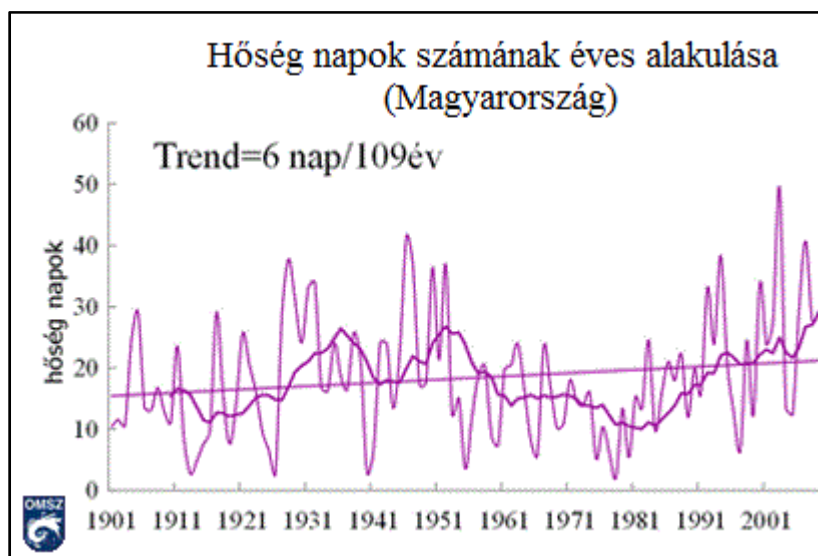
<sup>27</sup> Dr. Gáspár László: A klímaváltozás és az útburkolatok közúti és mélyépítési szemle, 2007.március, pp. 1-6.

<sup>28</sup> Hunyadi Dóra: A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára, Közlekedésképzési Szemle, 60. évf. 3.szám, 2010

<sup>29</sup> Forrás: <https://jarokelo.hu/bejelentesek/budapest/7579/repedes-tores-leendo-katyu-nyomvalyu> Lehívva: 2016.11.02.



A magyarországi tendenciát nézve (16. ábra), összességében növekszik a hőség napok száma, vagyis azon napoké, amikor a napi maximum hőmérséklet eléri a 30 °C-t.



16. ábra A hőség napok éves számának idősora (hazai rácspontok átlaga alapján) a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel 1901-2009 között.<sup>30</sup>

A hosszabb távú előrejelzések is ezt támasztják alá akár csak Magyarországot, akár Európát nézve (17., 18. ábra).

A várható éghajlatváltozás dinamikus modelleredmények alapján: hőmérséklet					
	Átlagos érték (nap)	Átlagos változás			
	1961–1990	2021–2050	2071–2100	2071–2100	2071–2100
(Definíció)	E-OBS	A1B	B2	A1B	A2
<b>Fagyos napok száma</b> ( $T_{\min} < 0\text{ °C}$ )	93	-35	-43	-54	-51
<b>Nyári napok száma</b> ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ )	67	38	66	68	76
<b>Hőségnapok száma</b> ( $T_{\max} > 30\text{ °C}$ )	14	34	68	65	86
<b>Forró napok száma</b> ( $T_{\max} > 35\text{ °C}$ )	0,3	12	30	34	53
<b>Hőségriadós napok száma</b> ( $T_{\text{közép}} > 25\text{ °C}$ )	4	30	59	59	80

17. ábra Hőmérsékleti indexek múltbéli (1961-1990) előfordulásának és jövőbeli várható változásának magyarországi átlaga modellszimulációk alapján<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Forrás: OMSZ, [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarorszag/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/)

Forecast per region	Nordic		Temperate	
	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
Heat Waves	0% to 4,0%	0,1% to 6,5%	0,1% to 7,0%	2,8% to 18%

Alpine		Mediterranean		Maritime	
2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
6,2% to 14,6%	15,8% to 28,4%	12,7% to 29,1%	24,6% to 41%	0,1% to 2,8%	0,2% to 7,6%

### 18. ábra Hőhullámok előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra<sup>32</sup>

Ezek alapján sokkal gondolnánk azt, hogy a hőmérsékletváltozás nagy befolyással bír, legalább az aszfaltburkolatú utak állapotára. Egy amerikai tanulmány [13] azonban viszonylag alacsony érzékenységet állapított meg a hőmérsékleti változásra. Ezt a besorolást (a kutatási eredményeken kívül) egyrészt azzal indokolta, hogy „Az aszfalt kötőanyagú szerkezeteknek nagy a hővel szembeni ellenálló képességük, ami azt jelenti, hogy a várható hőmérsékletek jellemzően nem károsítják az útburkolatot.”<sup>33</sup> Másrészt a korábbi extrém események folyamán, a közúthálózat elemei csak alacsony érzékenységet mutattak. Jóval szélsőségesebb eseményeknél, nagyon jelentős hőmérsékleti növekedés esetén, megfontolandó a mérsékelt érzékenységi jelző.

A magas hőmérséklet befolyásának vizsgálatakor, adott körülmények mellett, az érzékenység megfelelő megítéléséhez érdemes megvizsgálni a következő veszélyt jelző tényezőket:

- Alakultak-e ki korábban az adott területen nyomvályúk, gyűrődések vagy más hőmérsékleti hatásból eredő burkolati hibák?
- Jellemző-e nagy nehézgépjármű lefolyás az adott területre?
- A hőmérséklet meghaladja-e azt a hőmérsékleti küszöbértéket, amire a burkolat kötőanyagát tervezték? [13]

<sup>31</sup> Bartholy Judit, Pongrácz Rita: Klímaváltozás, 2013. Eötvös Loránd Tudományegyetem

<sup>32</sup> Extreme weather impacts on European networks of transport, EWENT Project Deliverable 3.4 Consequences of extreme weather, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

<sup>33</sup> Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II., Screening for Vulnerability Final Report, Task 3.1, By the US Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Department of Transportation, Washington, DC, USA, 2014

### 5.1.2. Növekvő változékonyság a meleg/hideg napok között

A levegő éves, átlagos hőmérsékletének növekedése a téli évszakban is megjelenik. A nagy fagyok, hideg időjárási szélsőségek előfordulási valószínűsége lecsökken, bár fontos, hogy nem szűnik meg teljesen.

A hőmérséklet napi periodikus ingásának nagysága több mindentől függ, többek között a nap delelőmagasságától, a levegő vízgőztartalmától, a felhőzet nagyságától, a felszín sajátosságaitól vagy a tengerszint feletti magasságtól [14].

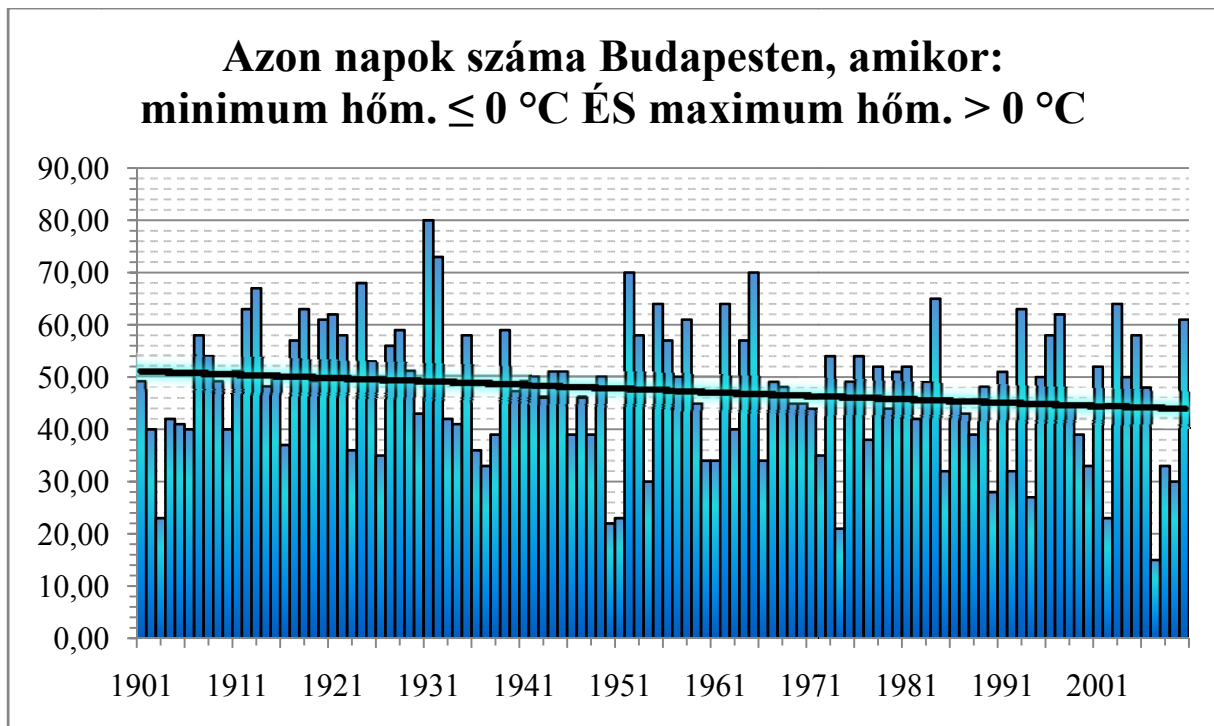
A klímaváltozás okozta téli enyhülés miatt ritkábbá válnak azok az időszakok, amikor hosszú ideig, állandóan fagypont alatt marad a hőmérséklet. Helyette a napi periodikus ingadozás egyre többször kerül 0 °C környékére. Ez a fagyáspont körüli hőmérséklet ingadozás kritikus lehet az út pályaszerkezet és a földmű állékonysága, teherbírása szempontjából. Ha az útpálya szerkezetébe víz jut (mondjuk a nyáron keletkezett hőtágulási repedéseken keresztül) és ott megfagy, akkor a fagyás okozta térfogat növekedés miatt repedések alakulhatnak ki. Ha a fagyás-olvadás sokszor ismétlődik a hideg és meleg napok változékonysága miatt, akkor az még több repedéshez vezet. A repedezett útburkolat forgalom hatására megbomlik, és elvizesedhet a földmű. Ezek mind hozzájárulnak, kisebb nagyobb mértékben az élettartam rövidüléséhez.

Egy másik káros következmény lehet, ha a hideg napok alatt hó formájában lehullott nagyobb mértékű csapadék a melegedést követően hó lavina formájában az útra csúszik. Ez a hatás egyrészt veszélyezteti és akadályozza az úton közlekedőket, másrészt a hó további olvadása az úton fagy- és olvadási károkhoz vezethet. A fagyállóság maga „*a porózus építőanyagok ama tulajdonsága, hogy várható élettartamuk során a víz (olvasztó só) és fagy együttes hatására anyagtulajdonságaik lényegesen nem változnak meg.*”<sup>34</sup>. A fagykár folyamán azonban a víz a földmű fagyveszélyes, illetve fagyérzékeny részébe jut be. Itt a víz fagyásával jégglencsék alakulnak ki, amik magukhoz „vonzzák” a környezetükben lévő vizet, így nagyobb méretűvé válnak. A fagykár egyik veszélye ez a térfogat növekedés, ami a pályaszerkezet megemeléséhez, töréséhez vezet. A másik pedig, hogy amikor ezek a jégglencsék elolvadnak, a helyükön keletkezett üregeknek semmiféle teherbírás nem marad, amik így a forgalom hatására beszakadnak. A pályaszerkezet összeropaszódhat, kátyúsodhat. Olvadási kár akkor következik be, amikor a melegedés hatására elkezd felengedni a fagyott talaj. Ha ilyenkor (mondjuk az olvadó hó miatt) a földműbe víz jut, az nem tud a fagyott talajon keresztül eltávozni. A földmű teherbírása a megnövekedett víztartalom miatt lecsökken, és forgalom hatására káros deformációkat szenvedhet.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat több éves adatsorai alapján, megvizsgáltam Budapesten a kritikus napok számát. Vagyis azon napokét, amikor a minimum hőmérséklet 0 °C, vagy annál alacsonyabb és a maximum hőmérséklet nagyobb, mint 0 °C. A 19. ábra grafikonján jól látszik, hogy az egyes évek közötti eltérés nagyon nagy lehet. Volt olyan év ahol mindössze 15 ilyen nap volt (2007.), viszont volt olyan is, amikor 80 volt (1931.). Az éves előfordulást grafikonon ábrázolva csökkenő tendenciát kaptam. A trendvonal alapján a vizsgált időtartam alatt (1901-2010), átlagosan körülbelül 7 nappal csökkent ezen kritikus napok száma.

---

<sup>34</sup> Balázs György: *Építőanyagok és kémia*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1983



**19. ábra Azon budapesti napok száma, amikor a napi minimum hőmérséklet fagypont alatt és a napi maximális hőmérséklet fagypont felett van.<sup>35</sup>**

Az elemzés eredményének meghatározásánál azonban, figyelembe kell venni, egyrészt, hogy ez az adatsor csak Budapestre terjedt ki, az ország különböző pontjain más tendenciák is kialakulhattak. Másrészt, ami még sokkal fontosabb, hogy a fagypont körüli ingadozásnak nem szükséges egy napon belül végbemennie. Így, ez alapján, még bőven nem lehet olyan kijelentés tenni, hogy Magyarországon ez a klimatikus hatás nem mérvadó.

### 5.1.3. Permafroszt olvadása

A permafroszt olyan talajt jelöl, amelynek hőmérséklete több mint 2 éven keresztül  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) alatt marad. Ez azokban a régiókban fordul elő, ahol a nyári meleg hatására sem enged fel a talaj. Ezek a feltételek a magas szélességi köröknél lévő vagy magashegyi területeken érvényesülnek. Ezen területek hozzávetőlegesen a Föld felszínének negyedét alkotják - köztük Alaszka, Kanada és Szibéria területeit. A fagyott talaj vastagsága néhány métertől több száz méterig terjedhet, a helyi klímától függően.<sup>36</sup>

A globális meleg hatására a fagyos időszakok csökkennek, a permafroszt határát képező izoterma észak felé tolódik és emiatt a következő 20-25 évben 10-12%-al csökkenhet a permafroszt kiterjedése. A fagyott talajú területeken a változások növelhetik a természeti veszélyeket (kőomlás, csúszások), károsíthatják az építmények alapozását és zavart okozhatnak a létfontosságú infrastruktúrák működésében. A permafroszt felolvadásával, az utak és hidak instabillá válnak (állékonyság illetve teherbírás vesztes). Mivel a járművek csak

<sup>35</sup> Adatforrás: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/Budapest/adatok/eves\\_adatok](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Budapest/adatok/eves_adatok) lehívva: 2016.10.16.

<sup>36</sup> <https://www.theguardian.com/environment/2012/mar/05/permafrost-climate-carbon-emissions> lehívva: 2016.10.10.

a fagyott, teherbíró talajon tudnak közlekedhetnek, az fagyos időszakok rövidülésével, lecsökkennek azok az időtartamok is, amikor ezek a kritikus helyek használhatóak. [15] Ezen indokok miatt a permafroszt olvadás egyaránt veszélyezteti az utakat, hidakat, vízvezető árkokat és átereszeket, ezért az érintett földrajzi területeken különösen fontos ezen hatás vizsgálata.

A következő kép egy valós példát mutat be, egy a permafroszt olvadása miatt tönkre ment útra.



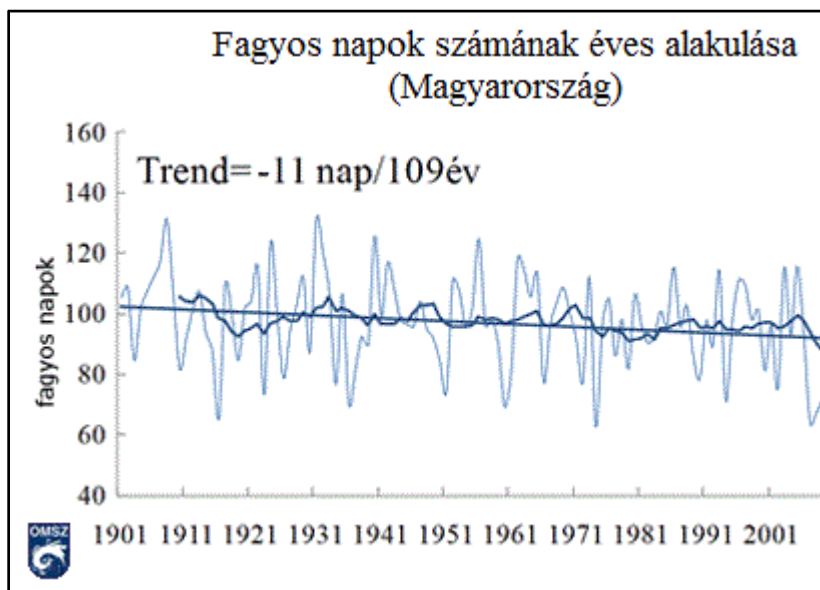
**2. kép A Yellowknife-től keletre, Kanada északnyugati részén fekvő 4-es út károsodása, a permafroszt olvadása miatt<sup>37</sup>**

---

<sup>37</sup> <http://www.nrcan.gc.ca/science/story/11700> lehvva: 2016.10.25.

## 5.2. Hideg hőmérsékleti szélsőségek

A klímaváltozás egyik pozitívnak elkönnyelhető hatása, hogy a hideg szélsőséges események száma az előrejelzések alapján csökkeni fog. Magyarországon is a globális változásokkal összhangban, megfigyelhető a téli hőmérséklet csökkenő tendenciája, és ezáltal a felmelegedés hatása. Az OMSZ több éves adatsorán, a fagyos napok éves számának alakulását vizsgálva (20. ábra), a vizsgált 109 év alatt (1901-2010) hozzávetőlegesen 11 nappal csökkent a fagyos napok átlagos évi száma. Fagyos napnak tekintjük a 0 °C alatti napi minimum hőmérséklettel bíró napokat.



**20. ábra A fagyos napok éves számának időszora (hazai rácspontok átlaga alapján) a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel 1901-2009 között.<sup>38</sup>**

A következő táblázat segít párhuzamot vonni az egyes alacsony hőmérsékleti küszöbértékek és a hozzájuk köthető fizikai tartalom között.

<sup>38</sup> Forrás: OMSZ, [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarorszag/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/)

Alacsony hőmérséklet – napi középhőmérséklet		
Küszöb-érték	Hatások	Következmények
$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Fontos küszöbérték a csúszósság miatt (jégképződés, a csapadék formája: eső/havas eső/hó). A hőmérséklet már önmagában is indukálja a veszélyt okozó körülményeket a közlekedésben. Ha az alacsony hőmérséklet csapadékkal és széllel párosul, az zavaró hatással lehet a forgalomra. Ónos eső esetén gyakoribb a fagyás - olvadás ciklusok váltakozása	Az utakon nő a balesetveszély. Az ónos eső miatt fokozott a veszély a mind a légi mind a közúti forgalom számára. Az utak és a kifutópályák burkolatában kismértékű romlás következik be.
$\leq -7\text{ }^{\circ}\text{C}$	Alacsony hőmérsékleten csökken a jég eltávolítására használt sózás hatása. Egy kisebb mértékű havazás is csúszóssá teheti az autópályákat, ha az utak felszínén a forgalom miatt összetömörödik a hó. A vasúti csomópontok beragadhatnak a hófűvás miatt. Amennyiben egymás után több ilyen hideg nap is következik, elkezdődik a folyók jegesedése. Néhány járműnek üzemanyag problémái lehetnek.	A balesetveszély nő, késések vagy járástörések fordulhatnak elő az utakon és a vasúti közlekedésben. Zavarás állhat be a belföldi vízi közlekedésben.
$\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Néhány járműnek üzemanyag problémái lehetnek. A folyókon jégpáncél alakul ki, a hosszú hideg időszak miatt. Mérsékelt szelek esetén is a veszélyes, jeges szelek hatásai érvényesülnek.	A tömegközlekedés időszakosan leállhat az üzemanyag problémák miatt. A folyami hajóközlekedés leállhat. A közlekedésben dolgozók szabadtéri munkavégzése korlátozott.

2. táblázat Alacsony hőmérsékleti küszöbértékek<sup>39</sup>

Azonban ez közelről sem jelenti azt, hogy akkor megfeledezhetünk az egyszer-egyszer előforduló hatásokról. Ahogy egy finn tanulmány [10] is írja: „A szélsőséges események általában ritkán fordulnak elő. Az események következtében az egyes időjárási paraméterek meghaladják a maximális és/vagy meglévő (mért) magas (alacsony) küszöbértékeket és a közlekedési rendszer bármely részére (infrastruktúra, műveletek, járművek, utasok vagy rakomány) káros, veszélyes hatást fejtenek ki.”<sup>40</sup> Ezek a hatások pedig nagyon is jelentősek lehetnek. Habár melegedés miatt a téli útfenntartási igények csökkenhetnek, az extrém téli események miatt nőhet a fenntartási költség. Ugyanebben a tanulmányban, ahol a különböző klímaváltozási hatásokat vizsgálták a közlekedési infrastruktúrán keresztül, ezen

<sup>39</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

<sup>40</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011



eseményeknek különösen nagy befolyást tulajdonít, és külön felhívja rá a figyelmet, hogy a hó és a jég különösen súlyos közúti baleseteket okoz, így emiatt a következményeit különös hangsúllyal kell figyelembe venni. A közútkezelők számára rutinosan kezelhető, enyhe, téli időjárás és a nagy beavatkozást igénylő hóviharak, fagyok közti váltás nagyon gyorsan mehet végbe. A hóviharak, a fagyok, az ónos eső és jégeső mind a téli időszak szeszélyes veszélyei közé tartozik. A időjárás ilyen fokú diverzitásánál az előrejelzések készítése és a következmények kezelése különösen nagy kihívást jelent téli üzemeltetés számára.

A hóesések legtöbbször akkor okoz(hat)nak problémát, ha rövid időn belül nagy mennyiség esik le. Ahhoz, hogy megértsük mi is számít „nagy” mennyiségnek, a következő táblázat nyújt segítséget.

<b>Hóesés (1 mm csapadék körülbelül 1 cm hónap felel meg)</b>		
<b>Küszöbérték</b>	<b>Hatások</b>	<b>Következmények</b>
≥ 1cm/24 h	<p>Ez a célszerű alsó határa a hóesésnek, amivel ma ésszerűen végezhetőek a klimatikus számítások.</p> <p>Egyes helyzetekben csúszósságot okoz, például nagyon alacsony hőmérséklettel kombinálva (finnországi megfigyelések alapján -10 °C alatt növeli a balesetveszélyt).</p> <p>A mediterrán országokban, ahol szinte sosem havazik, szintén problémát okozhat. A vékony hóréteg elolvadhat, és (ha az utakat nem sózzák) jégpáncéllá alakulhat, például naplemente után.</p>	<p>Csekély mértékben növelheti a baleseti kockázatot</p>
≥ 10 cm/24 h	<p>Csúszós útviszonyokat eredményezhet alacsony hőmérséklettel és széllel kombinálva.</p> <p>A vasúti váltók beragadhatnak.</p>	<p>Nő a baleseti kockázat a közúti közlekedésben (finn megfigyelések alapján dupla baleseti kockázat az átlagoshoz képest).</p> <p>A közúti forgalomban késések és járástörések jelenhetnek meg, és ez kiterjed a vasúti illetve a légi közlekedésre is.</p>
≥ 20 cm/24 h	<p>Csúszós utak és kifutópályák, felgyülemlés hótorlaszokkal.</p> <p>A hó felhalmozódása síksági területeken 20 cm/24 vagy több esetén, sem fordul elő túl gyakran.</p>	<p>Zavar a közlekedésben, magas baleseti kockázat, időszakosan lezárt utak.</p> <p>A repülőtereket időszakosan lezárják, késések és járástörések a vasúti közlekedésben.</p>

**3. táblázat Hóesési küszöbértékek<sup>41</sup>**

<sup>41</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011



A hóesés, mint extrém téli időjárási jelenségnek már a táblázat alapján is látszik, mennyi negatív hatása lehet. Az utakat csúszóssá teszi, valamint felhalmozódva hótörleszokat képezhet. Ezek következményeként, valamint a látási viszonyok leromlása miatt, a haladási sebesség lelassul, torlódások keletkezhetnek. Ezek mind minőségbeli változásokat okoznak a szállítási szolgáltatásokban (pl.: gyakoriság, várakozási idők, kiszámíthatóság, információk stb.). Szélsőséges esetben megbénulhat a forgalom. Nagyobb valószínűséggel fordulnak elő balesetek miatti fennakadások az utakon, ezek kapcsán nőhet a halálos és személyi sérülések száma valamint anyagi károk keletkezhetnek a járművekben, berendezésekben és az infrastruktúra egészében.

Ha az alacsony hőmérsékletet hóeséssel és széllekedésekkel kombináljuk, hóvihár jön létre. Ez fokozott veszélyforrást jelent, mert egyszerre kombinálja a három természeti jelenség negatív hatásait. A széllekedések okozta károk mellett a csúszós út, a rossz látási viszonyok és hótörleszok is tovább nehezítik a közlekedést. A veszélyes hóviharak kialakulási küszöbértékét és hatásait a következő táblázat mutatja be.

<b>Hóviharak</b>		
<i>Küszöbérték</i>	<i>Hatások</i>	<i>Következmények</i>
Hóesés $\geq 10$ cm/24 h, széllekedés $\geq 17$ m/s napi középhőmérséklet $\leq 0$ °C	Kidőlt fák, hótörleszok, csúszós utak és kifutópályák, rossz látási viszonyok, a vasúti váltók beragadhatnak.	Megnövekszik a baleseti kockázat és a sérülések száma az utakon (az átlaghoz képest 2-4-szeresére nő a balesetek száma), késések és törlések vagy leállások minden közlekedési területen.

**4. táblázat Hóvihár küszöbértéke<sup>42</sup>**

Hóvihár hatására példa a 2013. március. 14-15. között kialakult magyarországi helyzet.

A 2013. március 14-én délután a hirtelen lehűlés, havazás és viharos szél együttes kombinációja miatt veszélyhelyzet alakult ki Magyarországon. A Dunántúl középső sávjában valamint az ország északkeleti részében járhatatlanná váltak az utak és sok települést nem is lehetett megközelíteni. Akadozott a vasúti közlekedés és problémák voltak az áramszolgáltatással is. Sokan emlékezhetnek az ekkor kapott sms-re,,: „Segítünk! Ne hagyja el a gépjárművét! Ha elfogy az üzemanyaga, üljön át másik gépjárműbe!”, mely annak a több ezer embernek szólt, akik az utakon rekedtek, akár 24 órára is [16].

2013. március 14-én szokatlanul kemény téli vihar kezdődött Magyarországon. Az előző nap este megindult csapadék a Dunántúlon intenzív havazásba váltott és erősödő északi majd északnyugati széllel társult, amely a délutáni órákra már viharossá fokozódott. Az egyre többfelé kialakult hóvihár kritikus helyzetet teremtett elsősorban az utakon, széles hóátfúvásokat és alig néhány méteres látástávolságot okozva. Az északkeleti országrészben az

<sup>42</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

intenzív vizes hó megtapadva a vezetéseken sokfelé váltott ki vezetékszakadást, amely hosszan tartó áramkimaradásokkal járt. [17].

A legnagyobb problémát a hófűvás okozta. A talaj, az ilyen időjárási jelenségeknél megszokottól eltérően egyáltalán nem volt hideg, az előző hetekben még hajnali fagy is ritkán fordult elő. Az elsődleges problémát a nedves, nagy szemű hó okozta, a látástávolság drasztikusan lecsökkent és ez több ütközéses baleset kiváltója is volt az utakon. A havazás intenzitásának növekedésével a talajfelszínen kialakult az összefüggő hóréteg, és március 14-én délutántól a viharos szélben gyorsan épülni kezdtek a hótörzsek. Az országban nem hullott rendkívül sok hó, azonban főként a Dunántúlon, az orkán erejű szél hatására a hó vastagsága pár méteren belül nagyon sokat változott a tereptárgyaktól függően. Mivel az szélirány 48 órán keresztül állandó irányú volt, több száz méter hosszú dűnék alakultak ki. A helyzetet az is sokat rontott, hogy az út menti fasorokat az káreset előtti években szisztematikusan kivágták, a hófogókat pedig sokfelé már összeszedték [17].

A légi fotón (3.kép) jól látszódnak az M1-es autópályán félig betemetett autók illetve a helyenként több méter magas falakat képző hó, amely a viharos széllel érkezett.



**3. kép Hófűvás miatt elakadt autók az M1-es autópályán (2013.03.14-15.)<sup>43</sup>**

A hó, megolvadva hó lavinákat idézhet elő (ld. 5.1.2. fejezet). Valamint áradásokat is indukálhat, amik mind utak, mind hidak esetében jelentős károkat eredményez. Az áradások hatását a közúti infrastruktúrára az 5.3. fejezetben részletesebben is ismertetem.

A leesett hó az utakon azonnal olvadásnak indul. Ennek egyik oka, hogy a sötét aszfalt, mint a többi fekete színű és matt felületű anyag jó határfokkal nyeli el a napsugárzást. Ezáltal gyorsabban melegedik mind a környezete. Másrészt, téli időszakban az üzemtetés egyik fontos feladata a preventív, vagyis megelőző illetve az esemény alatti sózás.

<sup>43</sup> Forrás: [http://hvg.hu/itthon/20130316\\_Havazas\\_Tobb\\_mint\\_szaz\\_ut\\_lezarva\\_sok\\_hel](http://hvg.hu/itthon/20130316_Havazas_Tobb_mint_szaz_ut_lezarva_sok_hel)

Magyarországon a téli üzemeltetési időszak november 10-től március 15-ig tart. Az épp aktuális időjárási viszonyoktól függően ez az időpont előrehozódhat, illetve kitolódhat. A magyar közúthálózat téli tisztántartási besorolás szerint őrjáratos, rajonos és fehér utakkal rendelkezik. Ezek jellemzői:

- **Őrjáratos utak:** Azok az utak, illetve útvonalak, amelyeken a védekezés az út teljes hosszán és a forgalmi sávok szélességében történik a síkosságtól függően, szükség szerint. A hó eltakarítás során ezek az utak elsőbbséget élveznek.
- **Rajonos utak:** Azok az utak, amelyeken a védekezés nem terjed ki az út teljes hosszára, csupán annak veszélyes részeire (ívek, emelkedők, autóbusz megállóhelyek, közúti csomópontok, gyalogátkelő-helyek). A szórando szakaszok pontos helyét a menetutasításban rögzíteni kell.
- **Fehér utak:** Azok az utak, amelyek nem tartoznak sem az őrjáratos, sem a rajonos rendszerbe. Ezek az utakon, útszakaszokon a síkosság elleni védekezéssel nem kell gondoskodnia a közútkezelőnek, az ellenőrzés pedig csak az útellenőrzés gyakoriságával történik. A hó eltakarítás az őrjáratos és rajonos utakon felmerülő feladatok elvégzését követően végezhető és csak olyan mértékig történik, hogy az út személygépkocsival járható legyen.

A gyorsforgalmi utakon, síkosság mentesítési feladatok végrehajtása során, összeállítás gátlóval bekevert só alkalmaznak. Átlagosan 20 g/m<sup>2</sup> só szórnak ki a gépek. A só lecsökkenti a fagyási hőmérsékletet az utakon, ami nagy hidegekben, ónos esőknél különösen hasznos. A hatékonyabb és gazdaságosabb síkosság elleni védekezéshez nedvesített sószórási technológiát használható, ilyenkor CaCl<sub>2</sub> oldatot permeteznek a kiszórt sóra. Az oldat töménységét a hőmérséklet függvényében kell meghatározni, a következő módon:

Alsó hőmérséklet [°C]	Oldat töménysége [%]	Összetétel		Eltartható kristályosodás nélkül [óra]
		CaCl <sub>2</sub> [kg]	víz [l]	
-10	10	200	1800	24
-20	20	400	1600	24
-25	25	500	1500	24*
-30	30	600	1400	24**

**5. táblázat A Magyar Közút által használt CaCl<sub>2</sub> oldat bekeverési előírásai a hőmérséklet függvényében<sup>44</sup>**

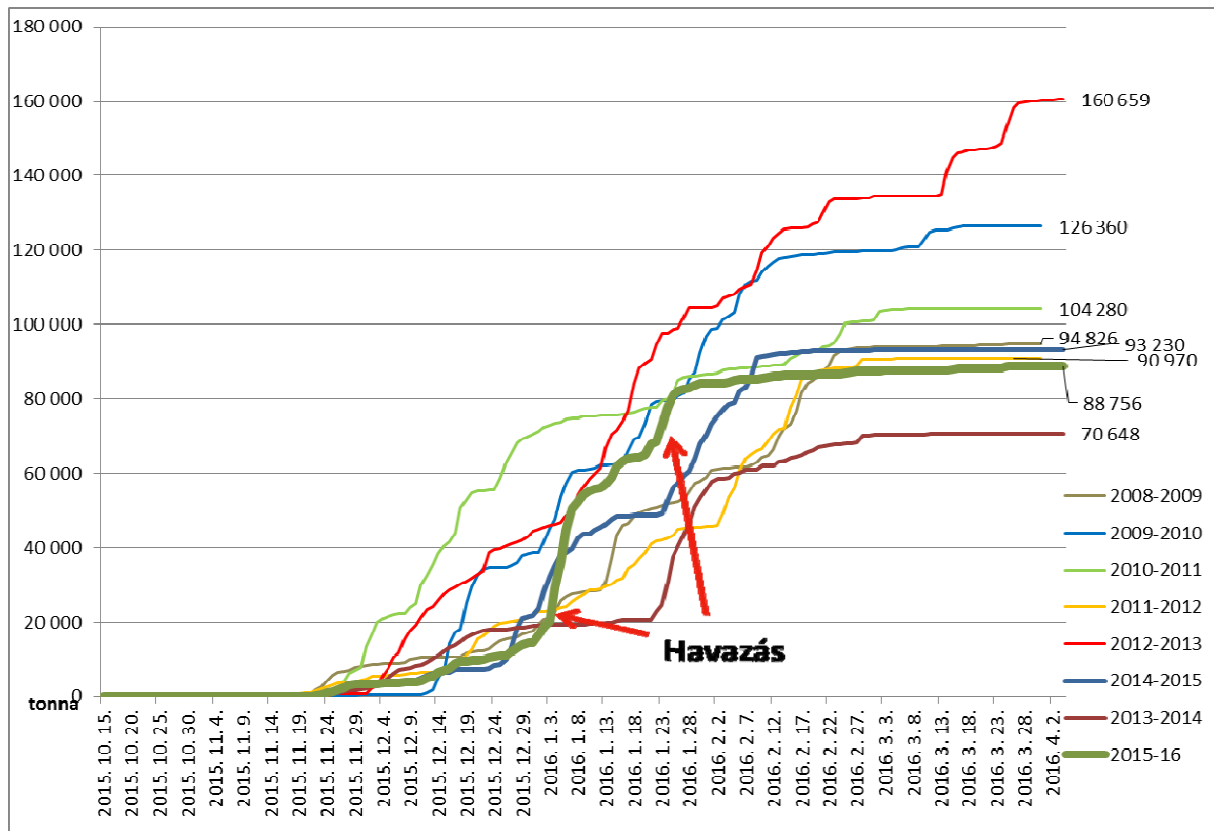
\* 24 óráig nem kristályosodik, azonban ha a hőmérséklet -20 °C alá süllyed, az oldatot 6 óránként át kell keverni, hogy abban szilárd részecskék (fagyócok) ne keletkezzenek.

\*\* 24 óráig nem kristályosodik, azonban ha a hőmérséklet -25 °C alá süllyed, az oldatot 6 óránként át kell keverni, hogy abban a szilárd részecskék (fagyócok) ne keletkezzenek.

<sup>44</sup> Forrás: Magyar Közút Nonprofit Zrt.

Figyelnünk kell arra, hogy ha az oldatban alacsony a klorid-koncentráció, akkor a magas víztartalom jégképződést eredményez. Ha viszont túl nagy a klorid koncentráció, a klorid kicsapódik és a maradék víz megfagy.

A következő grafikonon a magyar közúthálózat só felhasználási trendjei látszódnak a 2008/2009-es téltől kezdve a legutolsó 2015/2016-os télig. A különböző telek vonalait szemlélve és összevetve azokat az akkori időjárási eseményekkel, könnyen megállapítható, mikor voltak a télen nagyobb havazások. A grafikonok ugyanis ezeken a helyeken meredeken felugranak (21. ábra).



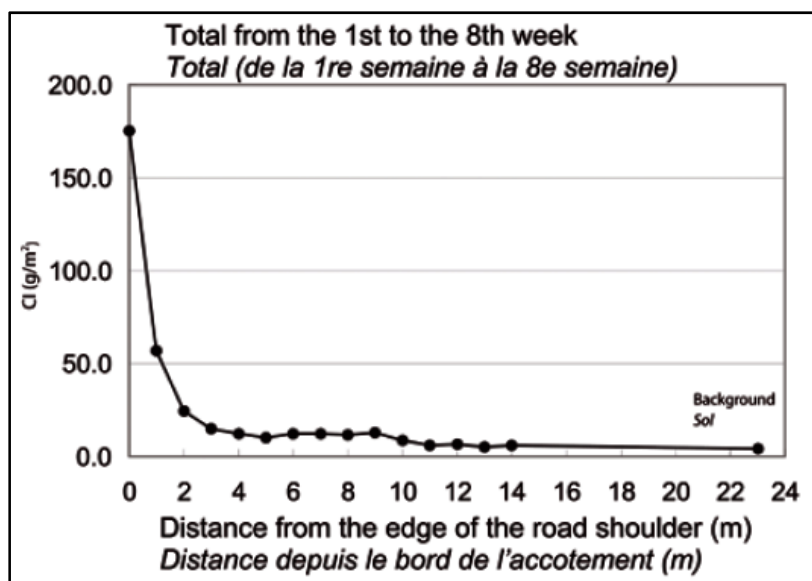
21. ábra Só felhasználások trendje 2008-2016<sup>45</sup>

A grafikonon lévő különböző vonalak végpontjait összevetve jól látható, mekkora különbségek is lehetnek az egyes telek között. Ez is azt támasztja alá, hogy nagyon nehéz előre felkészülni a téli időjárásra.

A váratlanul érkező hideg időjárási szélsőségek hatását állandó készenléttel és preventív védekezéssel lehet minél alacsonyabb kockázati hatásokon tartani. Azonban felmerül a kérdés, hogy ha esetleg ennek érdekében megnöveljük az útsózás mértékét/gyakoriságát, azzal nem okozunk-e kárt magunknak, egyrészt a megnövekedett költségek másrészt a környezőt területek növényzete miatt. A költségnövekedés egyértelmű lenne ebből a szempontból, hiszen jégmentesítő anyagoknak és az útszóró gépek működtetésének jelentős költsége van, ami ilyen változtatásoknál megnő. Egy japán tanulmány megvizsgálta a jégmentesítő sószórás (NaCl) természeti hatásait. Egy kiválasztott teszt szakaszon, 8 hétig

<sup>45</sup> Forrás: Magyar Közút Nonprofit Zrt.

vizsgálták mi történik a kiszórt sómennyiséggel. A teszt időszak végén megvizsgálva azt tapasztalták, hogy a leszórt só 72%-a, az útszélétől számolt 3 méteren belül volt. Ezt a keresztmetszeti eloszlást mutatja be a 22. ábra.



22. ábra Klórtartalom az útpályától távolodva<sup>46</sup>

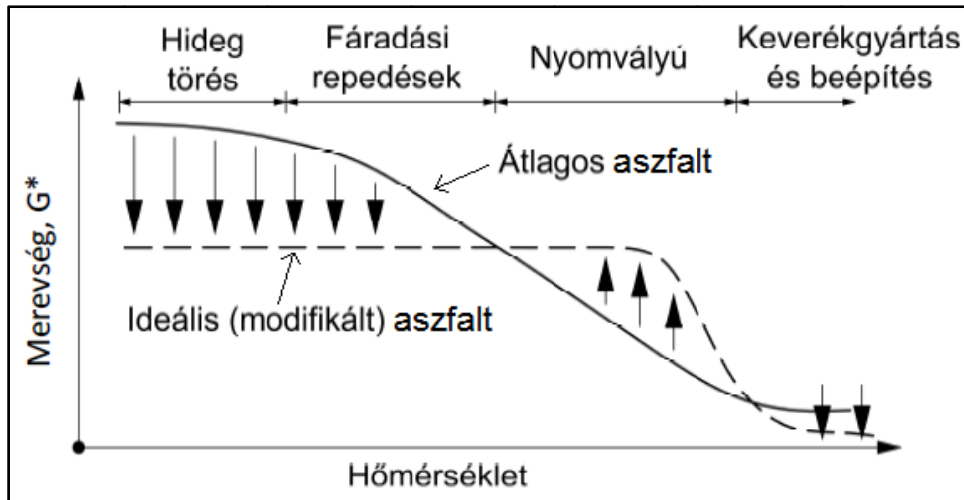
A vizsgálat külön kitért az út menti növényzet vizsgálatára. Azonban úgy találták, hogy a jégtelenítő sók jelenlegi gyakorlat szerinti használata mellett nincsenek egyértelmű bizonyítékok, hogy ezek befolyásolnák az út menti környezet és az országúti növények növekedését [18].

Az alacsony hőmérséklet egy másik fontos következménye, hogy aszfalt túl merevvé, törékennyé válhat és így megrepedezhet. A problémát az útépitési bitumen típusa okozza. Ahogy Dr. Gáspár László „A klímaváltozás és az útburkolatok” című cikkében írja: „A legáltalánosabban alkalmazott útépitési bitumen keményebb szortéja viszonylag magas hőmérsékleten lágyul csupán meg, ezzel azonban együtt jár, hogy a léghőmérséklet süllyedésével az anyag hamar túl merevvé, törékennyé válik. Ennek pedig azon aszfaltrétegeknek a téli repedezése a következménye, amelynek kötőanyaga ilyen jellemzőkkel rendelkezik. A másik véglet a nagyon lágy bitumentípus választása, amely – értelemszerűen – jól bírja az alacsony hőmérsékletet, míg a nyári melegben hamar lággyá válik. Adott esetben az aszfaltburkolatban felhasználandó bitumenfajtát annak alapján kell kiválasztani, hogy a burkolat élettartama alatt várhatólag mennyi ideig – és mekkora forgalmi igénybevétellel párosulva – milyen hőmérsékleti hatásoknak lesz kitéve.”<sup>47</sup>

Erre jelenthet megoldást a modifikált bitumenek alkalmazása, amelyek mind magas, mind alacsony hőmérsékleten jobban teljesítenek (23. ábra).

<sup>46</sup> Kimura K., Namikawa Y., Sone S., Yamamoto Y.: Research on environmental impact of spread de-icing salts, Routes/Roads magazine, 1er trimestre 2010/Janvier

<sup>47</sup> Dr. Gáspár László: A klímaváltozás és az útburkolatok közúti és mélyépítési szemle, 2007.március, pp. 1-6.



23. ábra A modifikált aszfalt merevségi viselkedése<sup>48</sup>

Az éghajlati tényezők befolyását vizsgálva, az útépítési bitumen típusa mellett, mennyiségének optimalizálása is hasonló fontos. Az épülő aszfaltburkolatok nyitott felülete ugyanis komoly kockázattal jár, mivel rövid idő alatt kifagyhat [19].

Mivel téli időjárási szélsőségek fokozott hatással vannak az úthálózatra, továbbra is szükséges a velük való foglalkozás. Az előrejelzések viszont Európa szerte a hideg hőmérsékleti jelenségek csökkenő gyakoriságát jelzik (24.ábra), így lehetséges, hogy a jövőben kevesebb problémát fognak okozni a téli útüzemeltetés számára.

Forecast per region	Nordic		Temperate	
	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
Cold Waves	-16% to -7,8%	-41% to -22%	-8,8% to -0,5%	-25% to -5,3%
Snowfall	-7,7% to -2,6%	-14,2% to -7,2%	-3,1% to -0,8%	-7,4% to -1,2%

Alpine		Mediterranean		Maritime	
2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
-15% to -5,1%	-29% to -12%	-8,1% to 0,5%	-18% to 0%	-7% to -3,5%	-14% to -1,5%
-4,5% to -0,9%	-9,6% to -1,3%	-2,0% to 0%	-3,5% to 0%	-2,9% to -0,2%	-3,9% to -0,3%

24. ábra „Hideg hullámok” és hóesések gyakoriságának előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Forrás: H. U. Bahia: Modeling of Asphalt Binder Reology and Its Application to Modified Binders (2009)

<sup>49</sup> Extreme weather impacts on European networks of transport, EWENT Project Deliverable 3.4 Consequences of extreme weather, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011



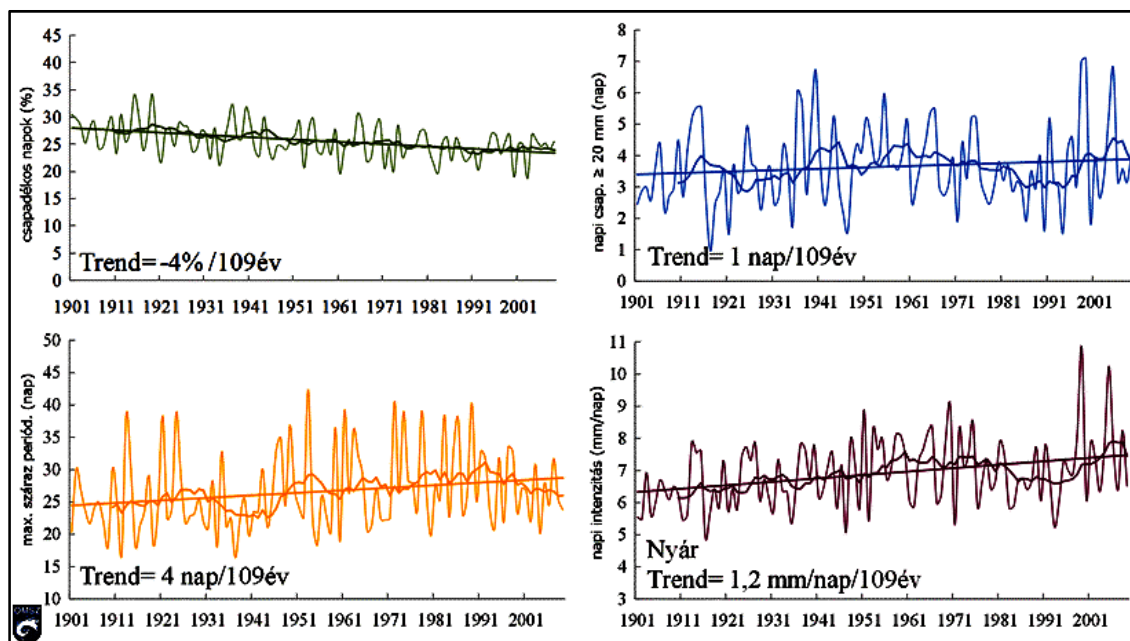
### 5.3. Csapadékmennyiség és intenzitás változása

A természeti jelenségek közül, valószínűleg a csapadéknak van a legsúlyosabb hatása a közlekedési infrastruktúrára. Különösen a közúti és vasúti töltések veszélyeztetettek, mivel ezek fokozottan érzékenyek a vízzel való elárasztásra.

Egy már korábban is említett amerikai tanulmány [13], mely a közlekedési infrastruktúra érzékenységét vizsgálta a különböző természeti jelenségekre, a csapadék változásának viszonylag mérsékelt érzékenységet tulajdonítottak. Ennek oka az volt, hogy bár az egyes területek, például árterek, nagyon is érzékenyen reagáltak a megnövekedett csapadéokra, azonban ezeket a mutatókat ellensúlyozták az alacsony érzékenyséű területek mutatói. Ez is csak azt támasztja alá, hogy adott probléma hatását mindig lokálisan, a helyi viszonyok függvényében kell megvizsgálni.

Azonban akár globálisan, akár lokálisan (csak Magyarországot) nézzük, a csapadék térben és időben nagyon változékony. Emiatt pedig az egyes, az éghajlatváltozás hatására bekövetkező tendenciákat is nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetén. A változások kihatnak az éves csapadékeloszlásra, változásokat generálva mind a hosszú periódusú, mind a heves, nagy intenzitású esőzések előfordulásában.

A 25. ábra grafikonjait vizsgálva megállapítható, hogy Magyarországon az éves csapadék mennyisége csökken és csapadékos napok aránya csökkenő tendenciát mutat (-4%/109 év). Azonban enyhe növekedést mutat azon napok számának aránya (1 nap/109 év), amikor egyszerre legalább 20 mm csapadék esett le. Ezzel összhangban áll, hogy a nyári csapadékinintenzitás átlagos értéke is megnőtt (1,2 mm/nap/109 év).

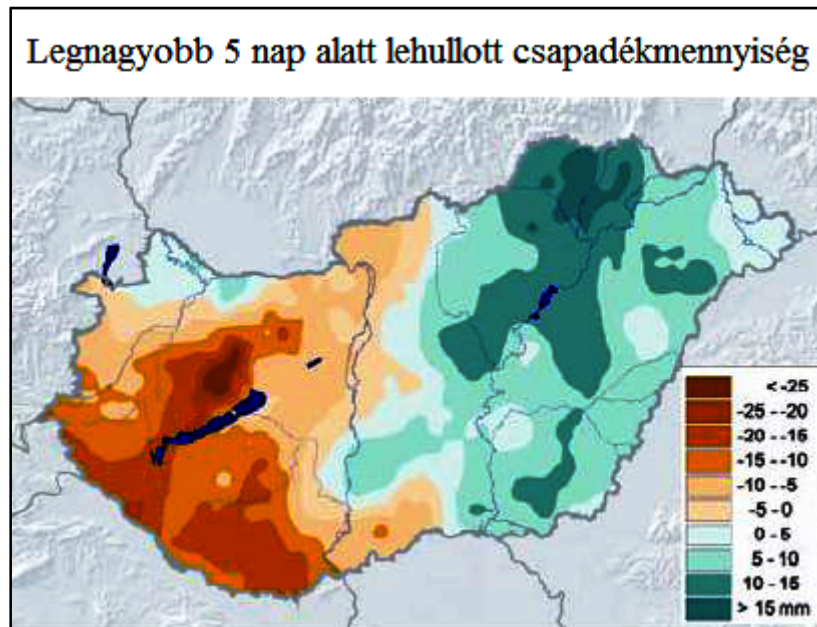


25. ábra Néhány extrém csapadék klímaindex rácsponi átlagának időszora, a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel (Magyarország, 1901–2009)<sup>50</sup>

<sup>50</sup> Forrás: OMSZ, [http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_valtozasok/Magyarország/](http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarország/)



A térbeli változékonyságra maga Magyarország is szemléltető példa. Ha megvizsgáljuk legnagyobb 5 napos csapadékmennyiségek változását 50 év alatt (26. ábra), akkor az ország egyértelműen kettéoszlik. Az ország nyugati felében a csökken a tendencia (van ahol a változás akár 25 milliméternél is több), míg keletebbre növekvő (van ahol a változás akár 15 milliméternél is több). A kritikus terület a Tisza magasabban fekvő részvízgyűjtőinél van, itt a legnagyobb ugyanis a növekedés, ez növekvő árvízi kockázatot jelent ezeken a területeken [8].



**26. ábra Legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékmennyiség változása (Magyarország, 1960-2009)<sup>51</sup>**

A csapadék mennyiségében bekövetkező változások, a hosszú ideig tartó esőzések a vízgyűjtő területen, amiket tovább súlyosbíthat az olvadó hótakaró és a földhasználat változásai, mind extrém vízhozamokat és vízfolyásváltozásokat eredményezhetnek. Megnövelik a folyami ártereken az árvízi kockázatot, mind gyakoriság, mind az elöntés mértékének tekintetében.

Az egyes utak és hidak helyi elárasztási kockázatának meghatározásához több tényező megértésére is szükség van. Ilyen lehet például a víz összegyülekezési lehetőségeinek vizsgálata vagy a lefolyástalanság és a vizsgált terület helyzetének beazonosítása az árterülethez képest. Ha a vizsgált rész árterén belül található vagy viszonylag alacsonyan helyezkedik el a környező területekhez képest, akkor nagyobb valószínűséggel érinti érzékenyen a csapadék okozta elöntés. Az egyes útszakaszok élettörténetének vizsgálata is fontos, azok az utak és hidak, amik már korábban is ki voltak téve nagyobb csapadékesemények okozta elöntéseknek, azok a jövőben is nagyobb valószínűséggel kerülnek víz alá. A környező területek beszivárgási, lefolyási tulajdonságai is hozzájárulhatnak a csapadék okozta árvízi és a lefolyási problémákhoz [13].

<sup>51</sup> Bartholy Judit, Pongrácz Rita: Klímaváltozás, 2013. Eötvös Loránd Tudományegyetem

Az árvizek közvetlen zavarokat és károkat okozhatnak a közlekedési infrastruktúra számtalan területén (pl.: utak, vasút vonalak, vasúti és autóbusz-terminálok, hidak, alagutak, kikötői létesítmények, gátak, vízelvezető rendszerek stb.). A folyók és tavak partvédelmi műveinek tönkremenetelét okozhatja miközben rézsúcsúszások és nagyfokú erózió előidézője is lehet. A százéves gyakoriságú árvízre történő méretezés a tapasztalatok szerint ma már nem elegendő, hiszen ennél lényegesebben gyakrabban fordulnak elő extrém méretű árvizek<sup>52</sup>.

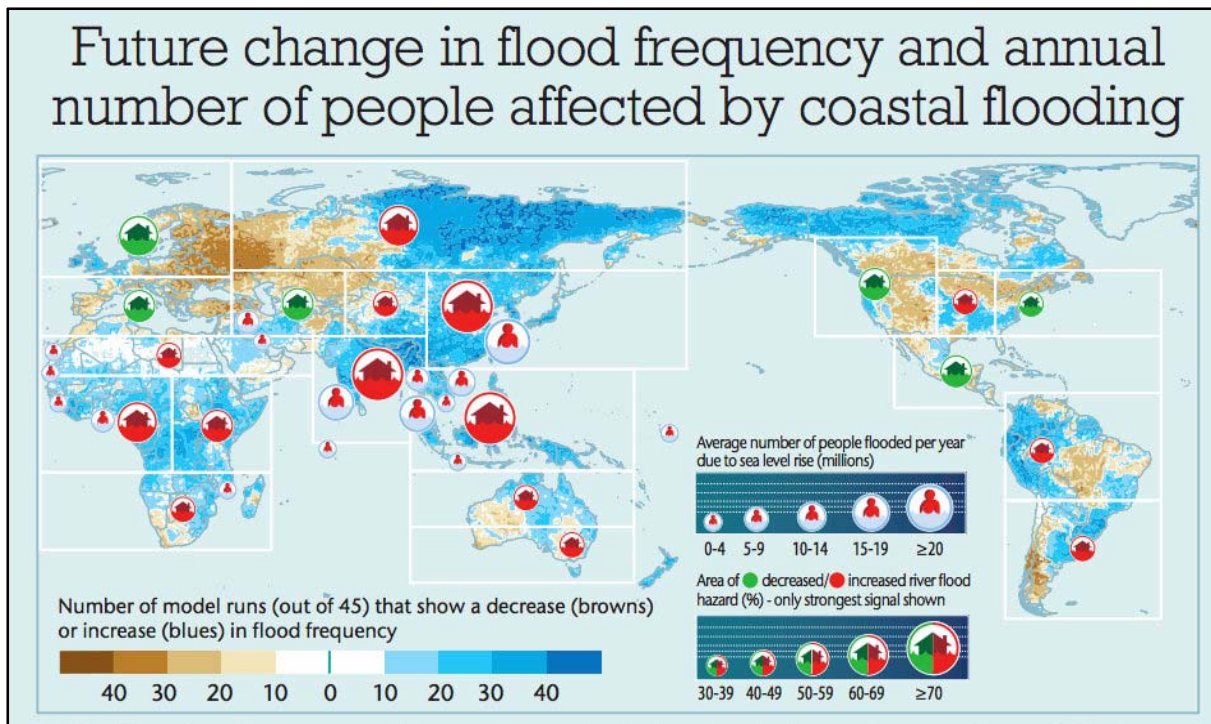
A hidak és átereszek esetében még más, egyéb szempontok is hangsúlyt kaphatnak. Ilyen például az életkoruk. Egyrészt, az idősebb hidak nagyobb valószínűséggel károsodtak korábbi haváriák alkalmával, leromolhatott a vízelvezető rendszerük, eltömődhetnek a nyílásaik illetve kisebb nagyobb mértékben alámosódhattak. Másrészt, fontos azt a tényt is figyelembe venni, hogy a régebbi hidak régebbi előírások alapján készültek, az akkori viszonyok függvényében [13]. A megépítésükkor figyelembe vett vízhozam az idők folyamán megváltozhattak az időjárástól független tényezők miatt. Ilyen lehet például az építés óta történ vízszabályozás vagy a növekvő beépítések és eltérő földhasználat miatt módosult vízgyűjtő terület nagysága miatt. A klímaváltozás miatt azonban gyakoribbá váltak a nagyobb, intenzívebb esőzések. Emiatt az eddig adott visszatérési idejűnek feltételezett csapadékok előfordulási valószínűsége megnövekszik. Lehetséges tehát, hogy egy régebben tervezett híd úsztatási magassága (a hídszerkezet alja és a vízszint közti függőleges távolság) nem lesz megfelelő a jelenlegi illetve a jövőbeli vízszinteknek. Nagy csapadék események esetén a víz akár el is moshatja a mőtárgyat.

Ugyanezt a drasztikus hatást azonban egy másik, kortól független hatás is kiválthatja, ez pedig a kimosódás, mely a hídfőket érinti. A hídfők gyakran a hidak leginkább érzékeny részei az árvizek és heves áramlások szempontjából. Ezek eróziója, vízmozgás okozta kimosódása és/vagy alámosódása illetve a part menti töltés leromlása a teljes szerkezetet kritikusan érintheti. [13]

---

<sup>52</sup> Hunyadi Dóra: A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára, Közlekedésépítési Szemle, 60. évf. 3.szám, 2010

A 27. ábra az árvizek előfordulási gyakoriságában bekövetkező változásokra ad előrejelzést (távlati idő: 2071-2100). A kör alakú piros ház szimbólum jelzi egy adott terület százalékos növekvő/csökkenő várható kockázatát, míg a területek átmenetes színei több modell alapján jelzik ugyanezt a kockázatot (barna – csökkenő, kék – növekvő). Ez alapján Európa nagy részén a jövőben csökkenni fog az árvízi kockázat, főleg az Egyesült Királyság területén várható csak növekedés.



27. ábra Az árvízi kockázatok változása a jövőben (2071-2100)<sup>53</sup>

Az esőzések intenzitás növekedése, vagyis hogy rövid időn belül nagyon sok csapadék hull le, szintén árvizek kiváltó oka lehet, így hatásai közé tartozhatnak a korábban leírtak. Azonban emellett más módokon is károsíthatja a közlekedési infrastruktúrát. A legjelentősebbek talán, a föld- és sárcsuszamlások, vagy a töltésekben, rézsűkben okozott károk.

<sup>53</sup> Human Dynamics of Climate Change ( HDCC), <http://www.metoffice.gov.uk/climate-guide/climate-change/impacts/human-dynamics>

A következő táblázat a heves esőzéshez köthető hatásokat mutatja be, a hozzájuk kapcsolódó intenzitási küszöbértékekkel.

<b>Heves csapadék</b>		
<b><i>Küszöbérték</i></b>	<b><i>Hatások</i></b>	<b><i>Következmények</i></b>
≥ 50mm/24 h	Elárasztott utak, a burkolat sűrűsödése csökkentett.	A másodlagos (homokkal borított vagy föld) utak károsodnak. Nő a karambolok száma az utakon.
≥ 100 mm/24 h	A csatornahálózat megtelik, a csatornából az utcára ömlik a víz. Az esővíz elönti az aluljárókat, és az alacsonyabban fekvő utcákat. A csatornafedelek leválhatnak, és ez veszélyt jelent a városi közlekedés számára. A látási viszonyok csökkennek, az aluljárókat elárasztja a víz.	A közúti balesetek kockázata nő, késések, károsodott utak.
≥ 150 mm/24 h	Az útszerkezetek összeomolhatnak, a kavicsos utak nagy mértékben károsodnak. A hidakat is elöntheti a víz. A metróhálózat víz alá kerülhet, metróhoz kapcsolódó kapcsoló berendezések, jelzőkészülékek és áramellátó rendszerek károsodnak. Ha az autók vezetés közben mélyebb vízbe kerülnek, a motor megáll, és megtelhet vízzel. Az eső csuszamlásokat idéz elő, amelyek elmoshatják az utakat és a vasútvonalakat. Az utakat és a síneket víz vagy hordalék és iszap lepheti el.	A közlekedés elakad, növekszik a közúti balesetek kockázata, késések az közúti, a vasúti és a légi közlekedésben, az utak és a vasutak sérülnek, vagy lezárásra kerülnek, a metróhálózat károsodik.

**6. táblázat Heves csapadék küszöbértékei<sup>54</sup>**

A csapadék mennyiségi vagy intenzitási növekedése bár némileg különbözik egymástól, legtöbbször mégis ugyanazt a káros hatást idézik elő, vagyis víz kerül oda, ahova nem kéne. A következőkben bemutatott káros hatásokat a csapadékváltozás mindkét típusa kiválthatja.

Az utakat elöntő víz szerkezet anyagának erózióját vonja maga után, károsodik a burkolat és a földmű elvizesedése miatt drasztikusan lecsökkenhet a teherbíró képesség. Károsodnak illetve össze is omolhatnak az áttereszek és dréncsövek, így eltömítve a drénrendszert. [10] A hirtelen lezúduló csapadék vagy az árvíz elöntés meghaladhatja a csatornahálózat kapacitását, így a problémát okozó víztömeg még tovább maradhat az utakon.

<sup>54</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011



A megnövekedett vízszint és a fokozott áramlás ki/alámosódásokat, felszíni süllyedéseket, talajcsúszásokat vagy omlásokat okozhat a közlekedési hálózaton. Az utakat lezárhatják. Befolyásolja a töltések, bevágások állékonyságát és a föld- és sárcsuszamlások mellett sziklaomlás is veszélyeztetheti az úthálózatot.

Példának tekinthető a 2010. május 19-én, az M1-es autópályán történt nagyszentjánosi eset. Az M1 autópálya 103+880 km szelvényében (a Győr- Sopron-Moson megyei Nagyszentjános közelében) a Cuhai Bakony ér feletti helyezkedik el 16,00 m nyílású, 17,20 m szerkezeti hosszúságú vasbeton mélyalapozású híd, melynek felszerkezete vasbeton lemezzel együttdolgozó, előregyártott, előfeszített hídgerendákból áll. A több napig tartó, sok csapadékkal járó, heves esőzések következtében a talaj vízelnyelő-képessége majdnem teljesen megszűnt az érintett területeken (korábban az egy nap alatt lehullott csapadék mennyisége megközelítette az évi átlagos csapadékmennyiség harmadát) [20]. A híd burkolatlan medre pedig, a nagy csapadék miatt kialakult árvíz következtében, kimosódott, a hídfők, kiegyenlítő lemezek aláüregelődtek. A híd háttöltése feletti burkolat 2010. május 19-én, a délelőtti órákban, a jobb pálya Budapest felőli háttöltésénél beszakadt (4.kép). A Komáromi Autópálya Mérnökség a kár észlelése után teljes útzárat rendelt el az ideiglenes helyreállítás érdekében, ezzel csökkentve a dinamikus járműterhelést, ezáltal a további károk kialakulásának valószínűségét. Az Autópálya Kezelő Zrt.<sup>55</sup> azonnal intézkedett a hídfők mögötti háttöltés kőanyaggal történő feltöltéséről és a híd háttöltése feletti burkolat ideiglenes helyreállításáról.



**4. kép A burkolat beszakadása az M1-es autópályán (2010. május 19.)**

Az ideiglenesen helyreállított burkolat azonban a későbbiekben többször is megsüllyedt. Ennek oka, hogy a rendkívüli kimosásokat és aláüregelődéseket a cölöpözött hídfők alatt és a mederben még nem lehetett helyreállítani, a heves esőzések miatt kialakult árvíz ugyanis csak

<sup>55</sup> 2013. november 1-től összeolvadt a Magyar Közút Nonprofit Zrt-vel

hosszú idő alatt, lassan vonult le. Ezen károk veszélyeztették az érintett szakaszon a híd állékonyságát és a forgalom biztonságát. Végül a beszakadást követően 120 nappal az autópályán illetve a javítási és helyreállítási munkák helyszínének közelében feloldották a kb. 1 km hosszon bevezetett a 60 km/h-s sebességkorlátozást [20], azonban a híd alatti mederburkolás ügye még mindig csak pályázati stádiumban van (2016-ban, terv alapján pályáztatta meg a Magyar Közút).

Az esőzések miatt leromló látásviszonyok és a víz pályán való felhalmozódása miatt a vezetési sebesség lelassul, torlódások keletkezhetnek. A nedves utakon a gépjármű gumijának a tapadó képessége leromlik [12], emiatt nőhet a balesetek száma, amik további fennakadásokat eredményezhetnek, miközben a járművekben, berendezésekben és az infrastruktúra egészében anyagi károk keletkezhetnek. Minőségi változások a szállítási szolgáltatásokban (pl.: gyakoriság, utak, várakozási idők, kiszámíthatóság stb.) és logisztikai szolgáltatásokban (megbízhatóság, pontosság, információk stb.) egyaránt [10].

Példaként említendő, a 2004. augusztusában történt több földcsuszamlási esemény Skócia területén. Az egyik eset az A85 jelzésű úton történt (Glen Ogle) ahol 57 embert kellett helikopterrel kimenteni, miután a nagy esőzés miatti két nagy volumenű törmelékfolyás között csapdába esett 20 jármű.

Bár nem történtek komoly személyi sérülések, a káreset miatt 1-4 napra le kellett zárni az érintett útszakaszt, ami negatívan érintette a helyi úthasználókat, valamint kereskedelmi áruszállítást és az ezen a területen jelentős turista forgalom. Ennek jelentős gazdasági és társadalmi vonzata volt [21].

Magyarországon is, 2010-ben a már korábban említett M1 autópályán említett eseményen túl több rézsűcsúszás is volt.

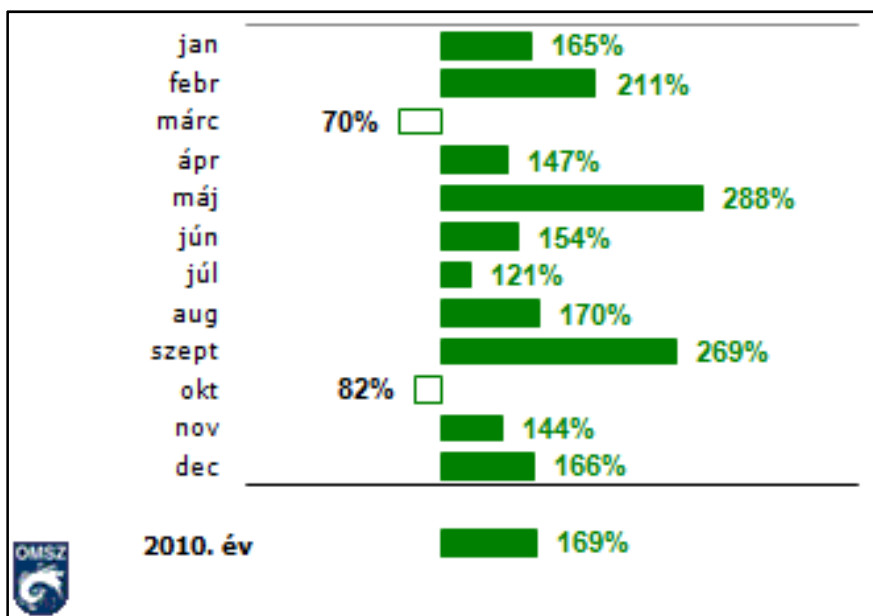
Például Bakonysárákány és Kisbér között, vagy Nógráskövesd és Magyarnándor között. Utóbbinál, a hosszú ideig zuhogó eső miatt a két település közötti vasúti vágányt hosszabb időre le kellett zárni, mert az árvíz elöntötte a pályaszakaszt. Egy részen a hegyoldalról, a letarolt erdő helyén levő szántóföldön akadálytalanul lezúduló víz, lemosta a termőtalajt, sáros áradatot képezve. Majd kevéssel később a pálya egyik áterezésénél lecsúszott a rézsűfelület (5. kép). A csúszólap a sínszál alól indult, és a töltés aljánál a földtömeg magával sodorta az átereszt<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Kassai János: Küzdelem esővel, árral, iszapáradattal Komáromtól Salgótarjánig, Sínek világa, 2010. 4. szám



**5. kép Nógrádkövesd és Magyarnándor között lecsúszott a rézsűfelület, a földtömeg magával sodorta az átereszt is<sup>57</sup>**

A OMSZ készítette kimutatás jól mutatja ezen káresemények és a megnövekedett csapadékösszegek közti összefüggést. A 28. ábra azt mutatja, hogy az 1971-2000-es évek átlagos havi csapadékösszegeihez képest, milyen változásokat mutatott a 2010-es év.



**28. ábra Havi csapadékösszegek 2010-ben az 1971-2000-es normál százalékában (58 állomás homogenizált, interpolált adatai alapján)<sup>58</sup>**

<sup>57</sup> Kassai János: Küzdelem esővel, árral, iszapáradattal Komáromtól Salgótarjánig, Sínek világa, 2010. 4. szám



Megemlítendő még, hogy ha az útpályaszerkezetek részben vagy egészben alulról jövő víz – talajvíz, belvíz vagy árvíz – alá kerülnek, az gyors tönkremenetelt okoz. Ez különösen a nem szemcsés talajból (pl. homok) készült földművek esetében igaz [19].

## 5.4. Extrém szelek, viharok

Európában az időjárási jelenségek közül, a leggyakoribb problémát az erős szél és a heves csapadék közös kombinációja okozza. A viharok okozzák a legkomolyabb és a leginkább elhúzódó károsodást a társadalomnak. Ami nem meglepő, figyelembe véve az utak, vasúti vonalakat, hidakat és alagutakat helyreállítási költségeit, az elvesztett jövedelmeket és a logisztikai rendszerekben bekövetkező késéseket [10].

### 5.4.1. Széllökések

A közúti infrastruktúra viszonylag alacsony érzékenységet mutat a szélsőségek változásával szemben. A szél egyrészt olyan mértékben hat az útra, hogy megrongálja a forgalomirányító táblákat és berendezéseket. Másrészt fákat és oszlopokat dönthet a burkolatra, vagy mindenféle hulladékot hordhat be az útra (ez utóbbi a faágaktól kezdve a leszakadt vezetékig és más egyéb személig bármi lehet), amelyek elzárhatják a közutat vagy veszélyeztetik a közlekedést. Azt, hogy a szél hol fog károkat okozni, nagyon nehéz előre meghatározni, kiváltképp a behordott hulladékok esetében, mivel azok bárhonnan származhatnak (bár ezek nagy többsége nem növényi eredetűek, hanem a beépített területekre jellemző anyagok). Az érzékenységet többnyire csak az utakon lévő jelzőberendezések sűrűségéből lehet kikövetkeztetni, és mivel a legtöbb úton és hídon viszonylag alacsony ezeknek a sűrűsége, így ezáltal az infrastruktúra érzékenysége is alacsony lesz. A szél által megrongált forgalomirányító táblák, lámpák, tetők, zajvédő falak és más berendezések feltartóztathatják a forgalmat, megzavarhatják a kiürítést és helyreállítást. Kockázati szempontból vizsgálva a portálok szilárdsága, a forgalomirányító táblák magassága és mérete és a portál karok hossza mind lényeges információk lehetnek [13].

A közlekedés biztonságára elsősorban az időnként fellépő, erős lökésekkel kísért szél van közvetlen hatással. Ekkor ugyanis nehezebbé válik a gépjármű kormányzása. Nagy forgalmú autópályákon, ahol a forgalom biztonsága ezt megköveteli, szélzsákokat helyeznek el azokon a helyeken (pl. bukkanóknál, zárt katlanból történő közvetlen kilépésnél), ahol ilyen széllökésekkel kell számolni.<sup>59</sup>

Az útra kerülő fák, táblák és hulladékok is akadályozzák a járművet a normális haladásban, ezek, a haladási sebesség lecsökkenése miatt torlódásokhoz, késésekhez és balesetekhez vezethet, melyeknek számottevő költség vonzata is van (ld. 6. fejezet). Anyagi károk keletkezhetnek mind a járművekben, mind infrastruktúrában [10]

---

<sup>58</sup> Forrás: [http://owwww.met.hu/eghajlat/visszatekinto/elmult\\_evek/2010/csapadek/](http://owwww.met.hu/eghajlat/visszatekinto/elmult_evek/2010/csapadek/)

<sup>59</sup> Dr. Gáspár László: A klímaváltozás és az útburkolatok közúti és mélyépítési szemle, 2007.március, pp. 1-6.

A következő két kép a szellökések hatásaira ad konkrét példákat.



**6. kép 2015. augusztus 29-n, fákat kidöntő heves szélvihar söpört végig a Kanada nyugati részén fekvő Vancouveren (Brit Columbia tartomány)<sup>60</sup>**



**7. kép Szél által elhajlított portáltábla Wisconsin déli részén (Egyesült Államok), 2016.07.06-án<sup>61</sup>**

A magyar szabvány nemzeti melléklete szerint, a szélesség kiindulási alapértékét  $v_{b,0}=23,6$  m/s-ra kell felvenni. Ez az érték egy éves, 0,02 meghaladási valószínűségű, 10 perces időintervallumon értelmezett átlagos, iránytól független szélesség a nyíltvidéki, sík terepszint feletti 10 m magasságban, szükség szerint a tengerszint feletti magasság figyelembevételével [22]. Ezt az értéket használják kiindulásként a szélhatásokra való méretezésnél. A következő táblázat segít a számok mögé látni, megmutatja milyen fizikai

<sup>60</sup> Forrás: <http://www.cknw.com/2015/08/29/windstorm-photos-reflect-the-damage/>

<sup>61</sup> Forrás: [http://host.madison.com/wsj/news/local/strong-storms-down-trees-knock-out-power-across-southern-wisconsin/article\\_20793836-88b1-52f0-81d4-06fd473f70e2.html](http://host.madison.com/wsj/news/local/strong-storms-down-trees-knock-out-power-across-southern-wisconsin/article_20793836-88b1-52f0-81d4-06fd473f70e2.html)

jelentés is állhat ezen a kiindulási alapérték mögött illetve, hogy az egyes sebességeknél milyen káresemények következhetnek be.

Szellőkések		
Küszöb- érték	Hatások	Következmények
≥ 17 m/s	A fák zuhanhatnak az utakra, autókra vagy elektromos vasúti vezetésekre.	Felfüggeszthetik a kisebb hajók működését, helyi és időszakos problémák léphetnek fel a közúti és a vasúti közlekedésben (hóeséssel kombinálva komoly problémákat okozhat).
≥ 25 m/s	Sok fa kidől. Hosszabb áramszünet, a látási viszonyok csökkennek, a hófúvásnak, szálló pornak vagy törmeléknek köszönhetően.	Hosszabb áramszünetek, késések és járatörlések a légi, vasúti és közúti közlekedésben. A komp közlekedés egyszerűen megszakad, csak nagyobb hajók tudnak közlekedni.
≥ 32 m/s	Kidőlt fák az utakon és a vasútvonalakon, az energia ellátásban széleskörű és hosszabb távú problémák lehetségesek. A tengeren lecsökken a látótávolság és nagy hullámok keletkeznek.	A kompok a kikötőben maradnak, a reptereket lezárják. Nagyobb anyagi kár. ( Hóviharban „minden megáll”).

7. táblázat Szellőkések küszöbértékei<sup>62</sup>

A „Szélsősége időjárás következményei” című finn tanulmány [10] előrejelzései alapján, csupán csak Európát tekintve is nagyon eltérő változások várhatóak régióként. Sokszor még a változás tendenciáját (csökken/növekszik a szellőkések száma) is nehéz megjósolni (29. ábra).

Forecast per region	Nordic		Temperate	
	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
Wind gusts	-1,5% to 0,3%	-2,1% to -0,2%	-0,4% to 1,5%	-1,3% to 0,5%

Alpine		Mediterranean		Maritime	
2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070	2011-2040	2041-2070
-1,1% to 0,8%	-5,8% to 0,3%	-0,6% to 2,5%	-2,3% to 4,1%	-0,5% to 1,6%	-3,1% to -0,9%

29. ábra Szélrohamok gyakoriságának előrejelzése az EWENT által meghatározott európai régiókra<sup>63</sup>

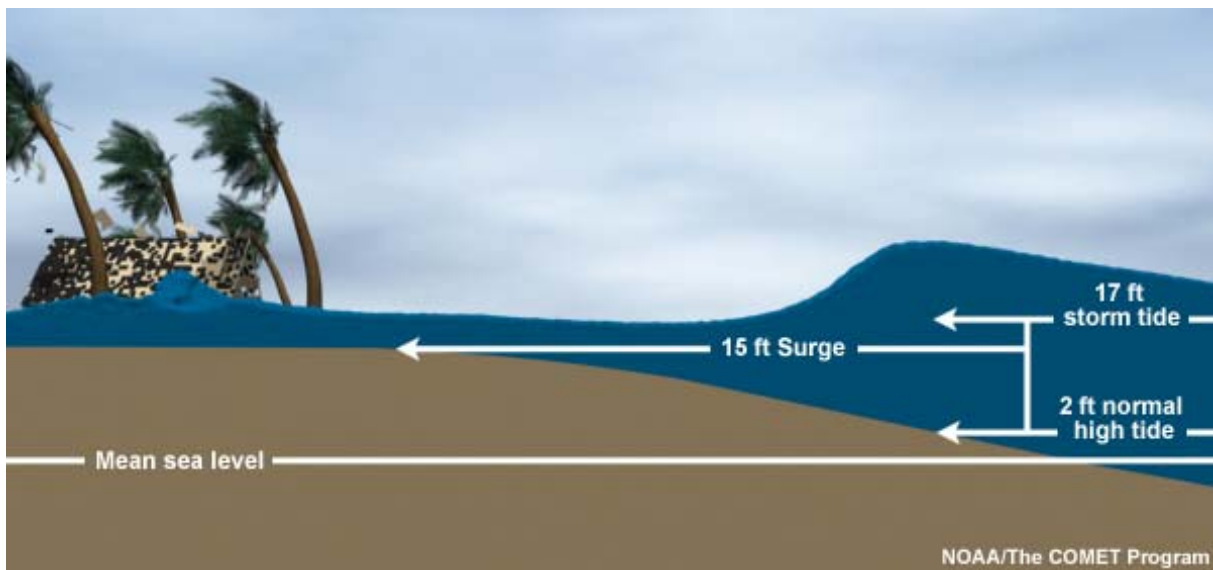
<sup>62</sup> Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

<sup>63</sup> Extreme weather impacts on European networks of transport, EWENT Project Deliverable 3.4 Consequences of extreme weather, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011

Ebből is látszik, hogy a szélsémákat mennyire nehéz is megjósolni. Egy német tanulmány alapján, mely több éghajlat-változási modell becslése alapján dolgozott, várható, hogy Nyugat- és Közép-Európában növekedni fog az extrém szélsőség. Azonban az is kimutatható, hogy a változások nem számottevőek az év minden egyes hónapjában. [23].

### 5.4.2 Viharos hullámmzás

Az angolul „*storm surge*” nevet viselő jelenség, Magyarországon nem igazán ismert. A szótárak vihardagálynak fordítják, de ez nem teljesen fedi le a jelentését. Helyénvalóbbnak látom a viharos hullámmzás vagy a szökőár elnevezést, mely trópusi viharok, hurrikánok következményeként keletkezik és a parti területek elöntésével is járhat (30. ábra).



30. ábra A viharos hullámmzás szintje a közepes tengerszinthez viszonyítva<sup>64</sup>

Trópusi ciklonok ott alakulnak ki, ahol a viszonylag meleg és nedves levegő emelkedik fel a Föld felszínéről. Ennek hajtóereje, hogy a levegő a magas nyomású területekről az alacsony nyomású területek felé akar áramlani. Ha a tengerek/óceánok megfelelő hőmérsékletűre melegednek (26 °C), az áramlás megindul és a felszálló párás, meleg levegő hatására zivatarfelhők keletkeznek. Ezek a felhők magukba szívják a folyamatosan párologó nedves levegőt és ahogy egyre nőnek, egyre erősödik a feláramlás. Az áramlás a Föld forgása miatt kialakuló Coriolis-erő hatására spirálisan történik, a szél így az alacsony nyomású rendszerekben befelé és felfelé, a magas rendszerű nyomásokban lefelé és kifelé fúj. Az egyre fokozódó áramlás hatására függőleges kiterjedésben hatalmas turbulenciák jönnek létre. A hurrikánok akkor tudnak elég energiát felhalmozni, ha az óceán hőmérséklete legalább 13, 5 méteres mélységig meghaladja a 26 Celsius fokot és amennyiben az örvénylésnek továbbra is van utánpótlása, akkor a forgási sebesség még tovább gyorsul [24].

<sup>64</sup> Forrás: National Oceanic And Atmospheric Administration, [http://www.stormsurge.noaa.gov/overview\\_causes.html](http://www.stormsurge.noaa.gov/overview_causes.html)

A hurrikánokat a Saffir-Simpson féle skála alapján lehet besorolni, 0-5-ig terjedő értékkel, attól függően, hogy mennyire erős benne a szél. A leggyengébbet 1-essel, a legpusztítóbbat 5-össel jelölik.

Hurrikánok Saffir-Simpson skálája				
	Központi légnyomás	Szélesség [km/h]	Viharos hullámzás magassága	Pusztulás mértéke
1	≥ 980 mb	118-152	1,5 m	Károkat szenvednek a fák, bokrok és a nem rögzített lakókocsik.
2	965-979 mb	153-176	2-2,5 m	Komoly károk a lakókocsikban, házak tető szerkezetében
3	945-964 mb	177-208	2,5-4,0 m	A nagy fák kidőlnek, kisebb épületek és lakókocsik jelentős károkat szenvednek.
4	920-944 mb	209-249	4,0-5,5 m	Lakókocsik teljes pusztulása, a partmenti építmények az emelkedő tenger miatt károsodnak.
5	≤ 920 mb	≥ 250	≥ 5,5 m	A házak és ipari üzemek jelentős része károsodik, elpusztul.

8. táblázat A hurrikánok Saffir-Simpson féle skálája (szélerősség alapján: 1 - leggyengébb, 5 - legerősebb)<sup>65</sup>

A trópusi viharok, hurrikánok okozta viharos hullámzással szemben a közúti infrastruktúra magas érzékenységet mutat. Ez a nagyfokú érzékenység többnyire a part menti hidak és utak alacsony szinten való elhelyezkedésből és a töltések magasságából (hidaknál) származik. A viharos hullámzás időszakosan előnetheti az utakat és a hidakat, járhatatlanná téve és károsítva azokat. Eróziót és kimosódást is okozhat, amivel veszélyt jelent a parti töltések, földművek, alapozások és átereszek számára [13].

<sup>65</sup> [http://www.ng.hu/Fold/2010/06/Hogyan\\_keletkezik\\_a\\_hurrikan](http://www.ng.hu/Fold/2010/06/Hogyan_keletkezik_a_hurrikan),  
<https://grade7geography.wikispaces.com/The+Saffir-Simpson+scale>



„Storm surge” romboló hatását mutatja be példaként a 8.kép.



**8. kép Viharos hullámzás miatt megsemmisült védógát és part menti erózió Florida keleti részén, 2004. október 27-én (New Smyrna Beach)<sup>66</sup>**

Az utak és hidak szerkezeti károsodásának vizsgálatokor sokszor ugyanazok a szempontok is előkerülnek, amiket az elöntések, árvizek esetében vizsgáltunk. Ez nem meglepő, hiszen egy-egy több méteres hullámokkal érkező hurrikán tombolása után a területre érkező víz nem távozik el azonnal. Ugyanolyan elöntés marad utána, mint a korábban leírt árvizeknél.

Ezek alapján a következő szempontokat kell megvizsgálni, egy adott terület/műtárgy érzékenységének megállapításához<sup>67</sup>:

- Károsodott-e a műtárgy korábban viharos hullámzás hatására: ha az út vagy híd korábban már károsodott viharok miatt, jó eséllyel a jövőben is fog.
- Védett-e a műtárgy viharos hullámzás ellen: az utakat védheti gát, partfal, növényzet vagy más szerkezet, amely ellenáll a viharos hullámzásnak.
- Mekkora a híd magassága: azoknál a hidaknál, melyeknek úsztatási magassága kicsi, ott nagyobb eséllyel éri el a vihardagály a pályalemezt.
- Alámosódás szempontjából veszélyeztetett-e a híd: azoknál a hidaknál, ahol tapasztaltak már kimosódást, nagyobb eséllyel károsodnak a viharos hullámzás miatt.
- Milyen a hídaléptítmény, felszerkezet és pályalemez állapota: a rossz állapotú hidak nagyobb eséllyel károsodnak viharos hullámzás miatt.

<sup>66</sup> Forrás: <http://www.cwconstruct.com/services/disaster-recovery/>

<sup>67</sup> Az egyes vizsgálati szempontok szó szerinti fordítások, melyek angol forrása: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II., Screening for Vulnerability Final Report, Task 3.1, By the US Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Department of Transportation, Washington, DC, USA, 2014

- Nyitható-e a híd: a nyitható hidak elektromos berendezéseik miatt nagyobb eséllyel károsodnak viharos hullámzástól.
- Milyen a műtárgy kora: a régebbi hidakat korábbi szabványok szerint tervezték, általában leromlott szerkezetűek vagy korábban már komolyan károsodtak viharos hullámzástól, így érzékenyebbek a viharos hullámzás hatására, mint az újonnan tervezett társaik. Ráadásul a tengerszint változása és a korábbi extrém viharos hullámzások nagymértékben megváltoztathatták a híd eredeti tervezési vízszintjét.
- Milyen a hídfők magassága: a hídfők gyakran a hidak leginkább veszélyeztetett részei. Szintjük általában nem sokkal haladja meg a vízszintet, így sokkal érzékenyebbek a tengerszint emelkedés miatt bekövetkező elöntésre, viharos hullámzásra vagy a heves esőkre. Ráadásul az előrenyomuló és visszahúzódó víz sebesség vektora a hídrámpánál nagyobb, mint a szabad nyílás közepén.

A mai technológiák segítségével már számítógéppel modellezhetőek a hullámok hatásai, így ezek segítségével is meghatározható a part menti területek hullámverési és elöntési kockázata, lehetséges károsodása. A modellek képesek a part topográfiai/oceanográfiai adottságait és a hullámok a part miatti visszaverődését és felerősödését is számításba venni [13], így az egyedüli nehézséget a megfelelő kiindulási adatok meghatározása jelenti.

A klímaváltozás miatt ez a „storm surge” jelenség is gyakoribbá válik, hiszen a trópusi ciklonok kialakulási feltétele, hogy az óceánok megfelelő hőmérsékletűre melegedjenek. Az óceánok egyértelműen melegednek, és a jövőbeni tendencia sem mutat változást ebben a tendenciában. Emiatt azonban a hivatalos nyári hurrikán szezon kitolódhat, hiszen az óceánok hamarabb érhetik el és tovább tarthatják meg a trópusi ciklonok kialakulásához szükséges hőmérsékletet. Így a trópusi viharok, hurrikánok éves előfordulási valószínűsége nőni fog.



## 5.5. Tengerszint növekedése

A tengerszint növekedése főleg a partmenti rendszerek és az alacsonyban fekvő területeket érinti, azok kapnak nagyobb kockázati értéket. A tengerszint emelkedés időszakosan vagy tartósan előnthei az utakat, telítheti vagy gyengítheti az ágyazatot [13]. Azonban önmagában koránt sem okoz annyi kárt, mint amikor más hatásokkal együttesen lép fel. A tengerszint növekedése súlyosbítja a csapadék miatt kialakuló árvizeket és még tovább növelheti a viharos hullámzás hatásait. A hozzájuk tartozó vizsgálati szempontokat és káreseményeket nem sorolom fel ismét, hiszen azokat korábban már ismerttettem (5.3. fejezet és 5.4.2. fejezet). Röviden összegezve, károsan érinthetik a parti területek, töltéseket, földműveket, átereszeket, hidakat, az alacsonyban fekvő területek és a csatornákat. Eláraszthatják az utakat, vasútvonalakat és az alacsonyabb vízszintre tervezett kikötőket. Az erózió és az alámosódás jelentős károkat okozhat.

Azonban így is van néhány hatás, ami kifejezetten a tengerszint növekedéséhez köthető. Ilyen például, hogy egyes burkolatok alépitménye jobban, ill. kevésbé érzékeny a tengerszint emelkedéssel együtt járó sós víz behatolására. Azonban, ha a telítettség mértéke meghalad egy bizonyos szintet, akkor már mindegyik burkolat egyformán érzékeny.

Azok az utak, amelyeket gát, tengeri védőgát, vagy más építmény véd, kisebb eséllyel károsodnak a tengerszint emelkedése miatt, azonban ezek sem nyújtanak minden esetben megfelelő védelmet. Ha a szomszédos földrajzi területet előnti a víz, akkor az elvileg védett területen lévő szerkezetet is előnthei másik irányból. Fontos tehát megvizsgálni, hogy a vizsgált létesítmény/műtárgy vajon határos-e olyan magasabban fekvő területtel, amely ki van téve a tengerszint emelkedés hatásának.

A talaj típusa is fontos indikátor lehet. A tengerszint emelkedése esetén, a környező talajok eróziós hajlama, vízáteresztő-képessége és hézagtényezője egyaránt nagy kihatással lehet a partvonal infrastruktúrájának viselkedésére. A nagy hézagtényezővel rendelkező talajoknál a víz kimosódást idézhet elő.

## **6. Költségvetési kitekintés**

### **6.1. A költségek keletkezése**

„A közlekedési létesítmények, köztük az úthálózat tervezése, építése, fenntartása és üzemeltetése nem csak műszaki, hanem egyúttal azzal szorosan összefüggő gazdasági és pénzügyi tevékenység is.”<sup>68</sup>

Az előző bekezdések kellőképp rávilágítanak, mennyire komoly befolyást is jelenthetnek a klímaváltozás miatt megváltozott időjárási jelenségek. Azonban e változások gazdasági következményeinek meghatározása egy nagyon összetett, soktényezős és nehezen megfogható feladat. Egy teljes körű gazdasági elemzésben a közvetlen és a közvetett hatásokat egyaránt figyelembe kell vennie. Jelen esetben, a közvetlen hatások az infrastruktúrában bekövetkező károk, és veszteségek lennének, míg közvetett hatás lehet például az áruszállítási késések miatti bevétel kiesés, vagy a fennakadások okozta kényelmetlenségek és az elégedetlen közvélemény. A közvetlen hatásokat is nehéz számszerűsíteni, de a közvetlen hatások szerteágazó mivolta és nehéz beazonosíthatósága miatt, ezekre még nehezebb megbízható adatokat találni.

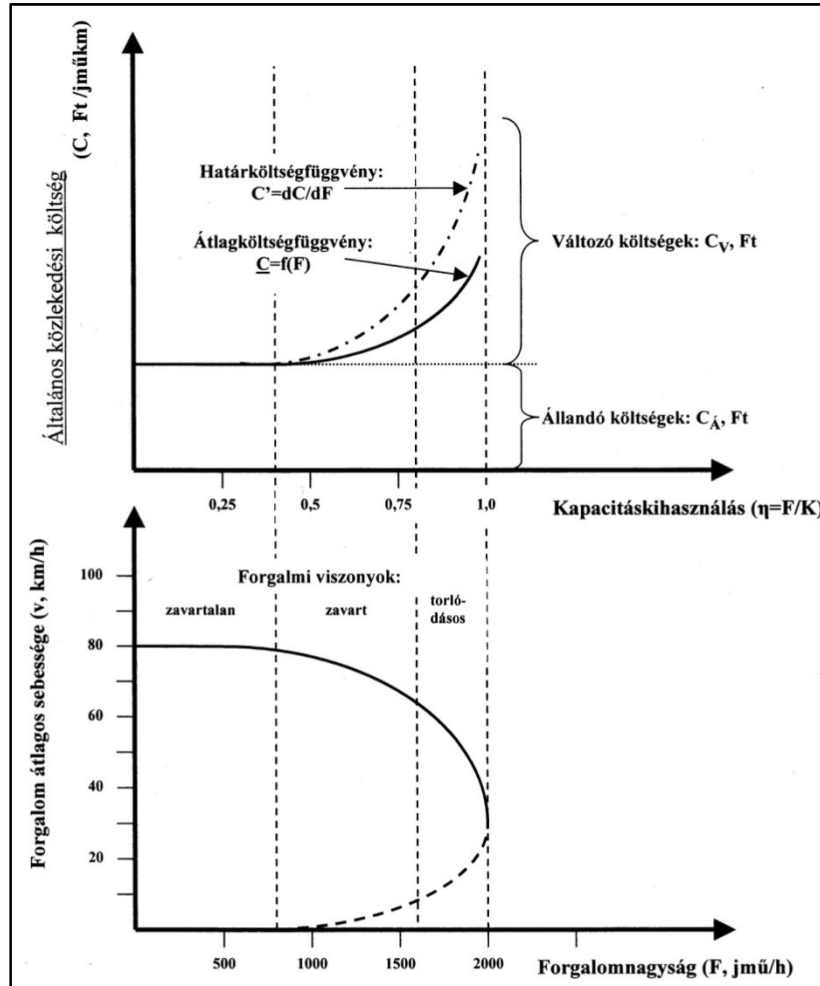
A közvetett hatások sokszínűségének bemutatása érdekében megpróbáltam meghatározni egy általános káresethez kapcsolódó legtöbb hatást. Kiindulási esetnek egy, valamilyen időjárási szélsőség miatti, útpálya lezárást vettem. Egyrészt, a lezárás oka, hogy olyan mértékű kár keletkezett az útpályaszerkezetben, hogy az alkalmatlanná vált a forgalom bonyolítására, amit minél hamarabb rendbe kell hozni. Lehetséges, hogy a kár keletkezésénél személyi sérülés is történt, és az infrastruktúra fizikai része mellett a járművekben is kár keletkezett. Az utat lezárják a forgalmat átterelik valamilyen vészmegoldásként szolgáló útra. Ennek lebonyolításához egyrészt emberi munkaerő kell, válságstáb felállítására és túlóra elrendelésére van szükség. Másrészt, a terelés megszervezéséhez idő kell, ami miatt egyre inkább feltorlódik a forgalom, amit a balesetről későn értesülők tovább növelnek. A tereléshez alkalmazott út valószínűleg túlterhelődik a nagy forgalom miatt, pályaszerkezete sérül a túlzott igénybevétel következtében. Ha a terelő út lakott területen vezet át, akkor az az ott élők számára is problémát okoz (szmog, zaj, forgalombiztonság, gyalogátkelőhelyek stb.). A lassabb haladási sebesség és a megállások miatt megnő az utazási idővesztés és a jármű üzemeltetési költsége. A késések miatt a borul az emberek napirendje, mivel nem tudnak dolgozni bevételt és ügyfeleket veszhetnek. Áruszállításnál megromolhat a szállított élelmiszer, több járművön át való szállítás esetén lekészheti a csatlakozást, vagy a többi jármű késését eredményezheti. Nem tudják a fogyasztói igényeket kielégíteni, így az úthasználók mellett ők is elégedetlenek lesznek. A fogyasztók bizalmatlanná válhatnak az adott céggel szemben, így lecsökkenhet a vásárlói kör. Valószínűleg ezt még nagyon sokáig lehetne folytatni, de ezek is már elég jól leírják, milyen sok réteget érinthetnek az infrastruktúrában keletkezett károk.

A következő ábra a forgalmi folyam átlagos sebességének és az általános közlekedési költségek nagyságának változását mutatja be, a forgalomnagyság, illetve a

---

<sup>68</sup> Dr. Tímár András: Közlekedési létesítmények gazdaságtana, Műegyetemi kiadó, 2002.

kapacitáskihasználás függvényében (2 forgalmi sávos, kb. 7,0 m széles burkolatú, külsőségi, sík terepen fekvő homogén útszakaszon, nehéz tehergépkocsik aránya a forgalomban kb. 10%). A következő ábrán lévő összefüggéseket tekintve megállapítható, hogy amennyiben a forgalmi sebesség lecsökken (és ami szinte az összes klímaváltozási hatás elsődleges következménye), akkor az általános közlekedési költségek megnőnek.



**31. ábra A forgalmi folyam átlagos sebességének és az általános közlekedési költségek nagyságának változása a forgalom nagyság, illetve a kapacitáskihasználás függvényében**

A magyarországi országos közúthálózat és hídjai komoly gazdasági értéket képviselnek, az éves bruttó hazai termék (GDP) jó részét ez adja ki. Így fenntartásuk és fejlesztésük emiatt is elengedhetetlen. Az utak és hidak, mint mérnöki létesítmények fő szerkezeti alkotó elemeinek vagyoni-értékelés és számviteli nyilvántartás céljára használt (átlagos) hasznos élettartamát országonként jelentősen eltérő nagyságúra becsülik [25]. Erre nyújt néhány példát a következő táblázat.

ORSZÁG	ÁLLÓESZKÖZ MEGNEVEZÉSE	ÜZEMI ÉLET- TARTAM (év)
Egyesült Államok	Út, helyi átmenő forgalom építménye	38
	Egyéb, nem épület célú építmény	40
	Közút, utca	60
Kanada	Közúti építmény	50-60
	Közúti teherszállítás egyéb építménye	39
	Közúti mérnöki szerkezet (híd)	55-65
Hollandia	Közúti szállítás egyéb építménye	35
Belgium	Épület és mérnöki építmény	30
Németország	Épület és mérnöki építmény	43
Franciaország	Épület és mérnöki építmény	40
Izland	Épület és mérnöki építmény	75
Egyesült Királyság	Épület és mérnöki építmény	50
Magyarország	Országos közút alépítmény	90
	Országos közút pályaszerkezet	36
	Országos közút egyéb elem	45
	Országos közúton fekvő híd	60
	Önkormányzati utak, hidak	33,3

**9. táblázat Az utak és hidak értékének nyilvántartásához, nettó értékének számításához használt, becsült átlagos hasznos élettartam értékek néhány országban<sup>69</sup>**

Ez a táblázat is jól mutatja, hogy a közút infrastruktúrát hosszú távra kell tervezni. Jövőbeli költségeinek tervezésénél pedig épp emiatt szükséges a bekövetkező (klimatikus) változások figyelembe vétele.

A közúti kiadásokat általában három fő jogcím szerint különböztetik meg [25]:

1. Úthálózat fejlesztési tevékenységek költségei (tervezés, kutatás-fejlesztés, engedélyezés, területvásárlás, régészeti feltárás, esetleges bontás, fel- és levonulás, építés, minőségbiztosítás, stb.)
2. Út fenntartási tevékenységek költségei (rutinjellegű és nagyjavítás, pótlás, stb.)
3. Út-üzemeltetési tevékenységek költségei (műszaki és baleseti segélynyújtás, tájékoztatás, forgalomirányítás, közvilágítás, takarítás, gazdálkodás és igazgatás, esetleges díjszedés, stb.)

A Magyar Közút költségvetése jogcím rendszer alapon működik, a „A közlekedésfejlesztési koordinációs központ által finanszírozott tevékenységek jogcímrendszere” című dokumentum alapján. A jogcímrendszer lényege, hogy minden felmerülő költséghez egy-egy jogcímet kell hozzárendelni, arra kell elszámolni. A finanszírozás is ezek alapján működik, minden évben adott összeg kerül az egyes jogcímekre, amikből aztán lehet gazdálkodni. Rendkívüli esetekben (pl. haváriáknál), az előre meghatározott költségvetéstől függetlenül külön pénzeket lehet igényelni a kialakult helyzet kezelésére.

Ha ezek a pénzforrások nem elegendőek, és tartósan elmaradnak a műszakilag indokolt igényektől, akkor az úthálózat állapota a közúti szolgáltatások minőségével együtt folyamatosan leromlik. Ez a jelenség jól ismert Közép-Európában [25]. Hazánkban is sokszor, még a megfelelő működéshez szükséges „C” szolgáltatási szint fenntartása is gondot okoz. A

<sup>69</sup> Dr. Tímár András: Közlekedési létesítmények gazdaságtana, Műegyetemi kiadó, 2002.

forrásigény és az út üzemeltetés részeire fordított források közti különbséget mutatja be a következő ábra.



32. ábra A magyar közúthálózat "C" szolgáltatási szintjéhez szükséges évenkénti forrásigény (2000-2010)<sup>70</sup>

Ebben az esetben, amikor a normál működéshez (szinten tartáshoz) szükséges források is nagyon korlátozottak, bármiféle reform nehezebben valósítható meg. Azonban fontos szem előtt tartani, hogy a megelőzés mindig nagyságrendekkel gazdaságosabb megoldás, mint a kárelhárítás. Ez a klímaváltozás következményeinél is így van. Csak a korábban levezetett útlezárások példát tekintve, egyértelmű, hogy nem csak a kárelhárításnak van költsége, hanem a közlekedési hálózat fennakadása is komoly, széleskörű társadalmi költséggel jár.

A közlekedés összes költsége társadalmi szinten egy adott időszakban különböző költségösszetevők összegeként állítható elő. Az egyes összetevők [25]:

- Általános közlekedési költség,  $C_k$ : Az úthasználó által érzékelt és saját erőforrásaiból fedezett **magánköltségek**.
- Közlekedési összköltség,  $C_0$ : A közúti szolgáltató által érzékelt és a saját és/vagy a rendelkezésére bocsátott költségvetési és egyéb forrásokból fedezett **közköltségek**.
- Elosztási költség,  $C_D$ : Az árukat és szolgáltatásokat előállítók, illetve fuvarozók, szállítmányozók által érzékelt és a saját, illetve a biztosítók erőforrásaiból fedezett **magánköltségek**.
- Összes társadalmi közlekedési költség,  $C_T$ : Mivel az esetenkénti károkozás mértéke és egyedi károsultja többnyire megállapíthatatlan, az adófizetők összességére hárított és a költségvetésből fedezett **közköltségek**.

<sup>70</sup> Pásztor Zoltán: Útépités és fenntartás diasor, BME, 2016.03.02.

A fő összetevők alrészeit a következő táblázatok foglalják össze:

Jármű üzemeltetési költség	$(c_{\bar{u}})$	+
Utazási idő-költség	$(c_t)$	+
Baleseti költség	$(c_b)$	+
Parkolási és úthasználati díj	$(c_d)$	+
Kényelem, megbízhatóság költsége	$(c_m)$	=
<b>ÁLTALÁNOSKÖZLEKEDÉSIKÖLTSÉG:</b>	<b><math>C_k</math></b>	

Létesítmény tőkeköltsége	$C_C$	+
Létesítmény finanszírozási költségei	$C_P$	+
Létesítmény fenntartási költsége	$C_F$	+
Létesítmény üzemeltetési költsége	$C_{\bar{u}}$	+
Létesítmény igazgatási költsége	$C_A$	=
<b>KÖZLEKEDÉS R ÖSSZKÖLTSÉG:</b>	<b><math>C_{\bar{O}}</math></b>	

Csomagolási költség	$C_{cs}$	+
Raktározási költség	$C_r$	+
Szállítási veszteségek, károk	$C_v$	=
<b>ELOSZTÁSI ÖSSZKÖLTSÉG</b>	<b><math>C_D</math></b>	

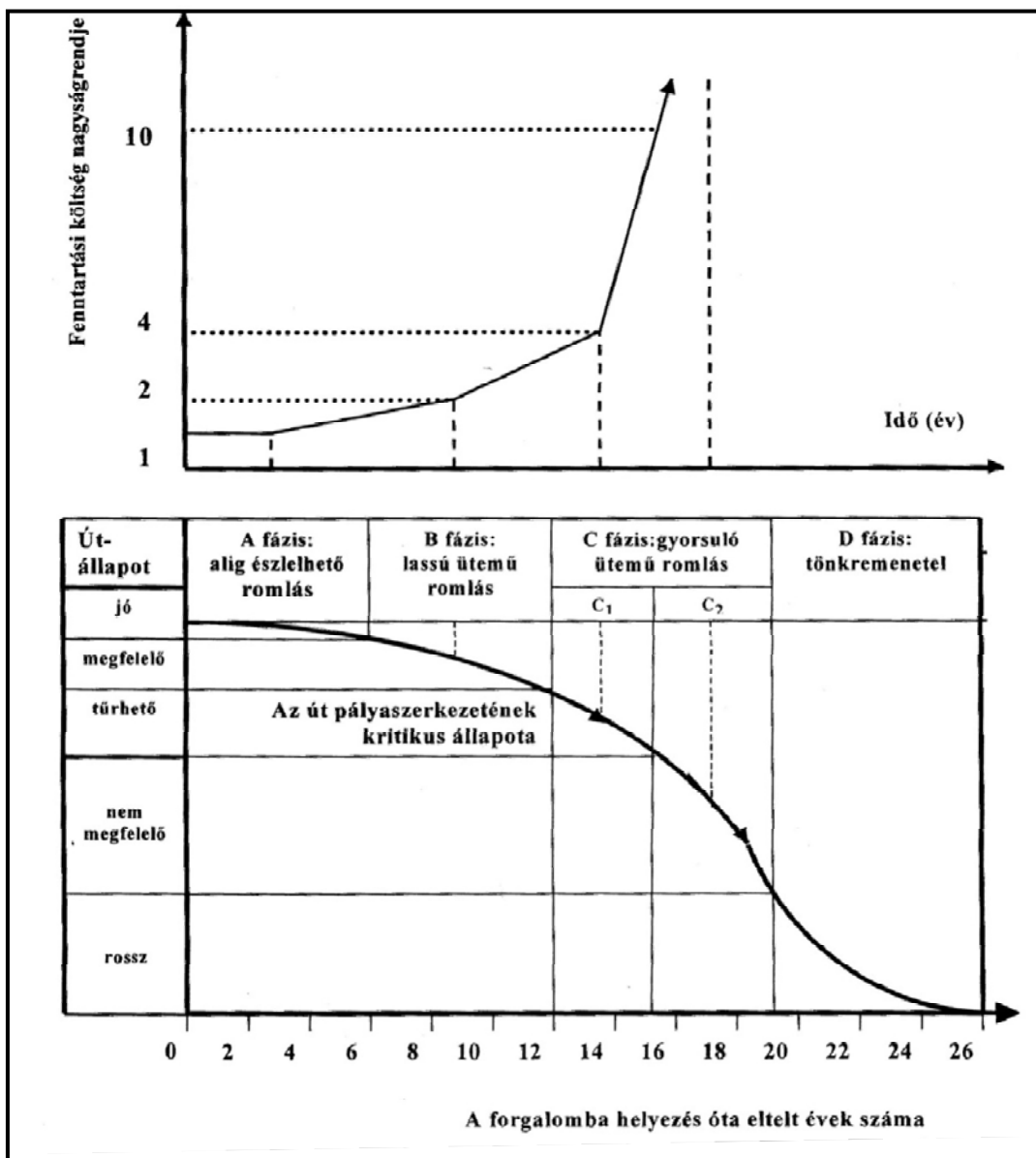
Környezetvédelem és károk költsége	$C_{kk}$	+
Forgalmi torlódás okozta veszteségek	$C_{tv}$	+
Biztosítással nem fedezett baleseti költségek	$C_{e\bar{u}}$	=
<b>ÖSSZESTÁRSADALMI KÖZLEKEDÉSI KÖLTSÉG</b>	<b><math>C_T</math></b>	

**10. táblázat A közlekedés társadalmi összköltségének összetevői<sup>71</sup>**

Ezek a költségösszetevők általában mind felbonthatók állandó (azaz a forgalomnagyságtól független és bizonyos időtartam alatt változatlan, vagy ilyennek tekinthető) és változó (a forgalomnagyságtól függő, időben módosuló) költségelemekre [25].

A 33. ábra az út állapotának természetes leromlását mutatja az idő függvényében, hozzá társítva az egyes állapotokhoz tartozó fenntartási költséget. Ahol fenntartási görbe már túl meredekké válik, ott valószínűleg a további gyorsuló romlás és költségnövekedés helyett jobb megoldást jelenthet egy egyszeri, nagyobb költségű beruházás, amivel a pálya állapotát visszaállítják a kezdeti szintre. A szélsőséges időjárási jelenségek következményeként ez a leromlási görbe megváltozhat (eltolódhat illetve megváltozhat a meredeksége), gyorsabb leromlást és ezáltal nagyobb fenntartási költséget indukálva.

<sup>71</sup> Dr. Tímár András: Közlekedési létesítmények gazdaságtana, Műegyetemi kiadó, 2002.



33. ábra Hajlékony pályaszerkezetű (aszfaltburkolatú) út állapotának változása az idő függvényében (elméleti leromlási görbe) és a fajlagos fenntartási költségek nagyságrendjének alakulása



## 6.2. Egy meglévő költségbecslési tanulmány eredményei

Tímár András, az ESReDA 40. konferenciáján (Bordeaux, 2011. május 25-26.) ismertett közleményéhez [20] részletes költségszámítási eredményeket végzett a hálózat klímaváltozási kockázatai és azok gazdasági következményei kapcsán. A számítások alapjául a korábban már példaként ismertetett M1-es autópályán történt káreseményt (2010. május 19.) vette. A következőket vizsgálta a klimatikus események tekintetében:

- Szélsőséges időjárási között történt személyi sérüléssel közúti balesetek
- A forgalom leállása miatti utazási idővesztés értéke
- Forgalmelterelésből eredő utazási idővesztés értéke
- Ideiglenesen bevezetett sebességkorlátozás miatti utazási idővesztés
- Jármű-üzemeltetési költségek (VOC) növekedése a forgalmelterelés következtében
- Az infrastruktúra javításának és helyreállításának költsége
- Útdíj-bevétel kiesés

A tanulmányban meghatározták, milyen költség vonzata van a gyorsforgalmi úthálózaton, a szélsőséges időjárási körülmények miatt bekövetkezett baleseteknek. Az alapvető feltevések szerint, a klímaváltozási tényezőkön kívül a kutatás valamennyi befolyásoló tényezőt változatlanul tekintette (*ceteris paribus* elvének alkalmazása). Az eredmények, bár nem frissek, mégis iránymutatásként szolgálnak a klímaváltozási hatások számszerűsítéséhez. Az eredményeket a következő táblázat foglalja össze (a költségeket 2008-as változatlan árszinten számítva).

	Halálos	Súlyos	Könnyű	Összesen
	személyi sérüléssel baleset			
<b>Balesetek száma 2005-2009</b>	245	948	1560	2753
<b>Az összes százalékában (%)</b>	8.9	34.4	56.7	100
<b>Évi átlagos balesetszám</b>	49	190	311	550
<b>Ebből szélsőséges időjárási körülmények között</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>35</b>	<b>63</b>
<b>Érintettek száma</b>	<b>9</b>	<b>32</b>	<b>70</b>	<b>111</b>
<b>Baleseti költség/fő (€<sub>2008</sub>)</b>	1 000 000	130 000	10 000	-
<b>Baleseti költség/év (€<sub>2008</sub>)</b>	<b>9 000 000</b>	<b>4 160 000</b>	<b>700 000</b>	<b>13 860 000</b>
<b>Csak anyagi kár (2850€<sub>2008</sub> /baleset)</b>	17 100	62 700	99 750	<b>179 550</b>
<b>Összes baleseti költség/év (€<sub>2008</sub>)</b>	9 017 100	4 222 700	799 750	<b>14 039 550</b>
<b>Összes baleseti költség/30 év (€<sub>2008</sub>)</b>				<b>421 186 500</b>

### 11. táblázat A gyorsforgalmi úthálózaton szélsőséges időjárási körülmények között/miatt bekövetkezett balesetek költségei évi átlagos értékének számítása<sup>72</sup>

A 12. ábra azt mutatja be, hogy a szélsőséges időjárási (klimatikus) események éves gazdasági következményei (költségei) hogyan alakultak (valamennyi vizsgálati szempontot

<sup>72</sup> Dr. Timár András: A magyar autópálya hálózat klímaváltozási kockázatai és azok gazdasági következményei, az ESReDA 40. konferenciáján (Bordeaux, 2011. május 25-26.) ismertett közlemény

figyelembe véve és feltételezve, hogy minden más befolyásoló körülmény és ható-tényező változatlan marad). A költségek itt is a 2008-as változatlan árszinten vannak számolva.

	Gazdasági érték € <sub>2008</sub>	%
<b>Forgalom leállása miatti utazási idővesztés</b>	810 290	15.0
<b>Forgalomterelés miatti utazási idővesztés</b>	1 687 836	31.4
<b>Sebességkorlátozás miatti utazási idővesztés</b>	1 074 620	20.0
<b>Forgalomterelés miatti jármű-üzemeltetési költség-növekmény</b>	691 218	12.8
<b>Infrastruktúra helyreállítási költsége</b>	1 000 000	18.6
<b>Útdíj-bevétel kiesés</b>	135 040	2.2
<b>Kritikus klimatikus esemény (KKE) összes költsége</b>	<b>5 500 000*</b>	<b>100</b>
<b>Súlyos klimatikus esemény (SKE) összes költsége</b>	<b>1 375 000*</b>	<b>25</b>
<b>Mérsékelt klimatikus esemény (MKE) összes költsége</b>	<b>350 000*</b>	<b>6.4</b>
<b>Gyenge klimatikus esemény (LKE) összes költsége</b>	<b>100 000*</b>	<b>1.8</b>
<i>*Kerekített értékek</i>		

**12. táblázat Szélsőséges klimatikus események éves közvetlen gazdasági következményeinek becsült értéke<sup>73</sup>**

A tanulmányban a klímaváltozás hatásait három forgatókönyv alapján vették figyelembe, melyhez az IPCC 2007-es jelentését használták. A három eset a következők voltak: az IPCC jelentés előre jelzésnél lassabb ütemű változás (A eset), az előrejelzés szerinti várt változás (B eset) és az előrejelzésnél gyorsabb ütemű klímaváltozás (C eset). Ezekhez a lehetőségekhez különböző valószínűségi eloszlásokat rendeltek, és ezeket alkalmazták a gyorsforgalmi úthálózat vizsgálatánál.

Az eredmények azt mutatták, hogy a különböző (A, B és C) lehetőség megvalósulása esetén a “változatlan gyakoriságú” alapesetben (1961-1990) viszonyítva a szélsőséges időjárási események közvetlen gazdasági következményeinek változatlan áron számított várható értéke 37,5% -kal (az A esetben), 50,0%-kal (a B esetben) és 63,7%-kal (a C esetben) növekedhet a 2071- 2100 közötti 30 éves időszakban.

A tanulmány figyelembe vette, hogy a szélsőséges időjárási (klimatikus) események gyakorisága az előrejelzések szerint a 2071-2100 közötti 30 éves időszakban növekedni fog (az 1961-1990-es időszakhoz viszonyítva). Ehhez kapcsolódva, összevetette a magyarországi gyorsforgalmi úthálózaton várható közvetlen gazdasági következményeket (költségnövekedést) az ugyanezen időszakra számított (virtuális) fenntartási és üzemeltetési költségekkel. Eredményül azt kapta, hogy a várható költségnövekedés nagyságrendje az előre becsült összes fenntartási és üzemeltetési költség 0.02%-0.04%-a közé esik.

A tanulmány azonban nem foglalkozott a közvetett gazdasági következményekkel, mivel az ezzel kapcsolatos adatokat nehezen elérhetőnek, hiányosnak és megbízhatatlannak találta. Emiatt ezen tanulmány eredményeinél is hangsúlyozni kell, hogy a klímaváltozás gazdasági következményeinek értéke (ez esetben a gyorsforgalmi úthálózatra nézve) ennél feltehetően jóval nagyobb lehet.

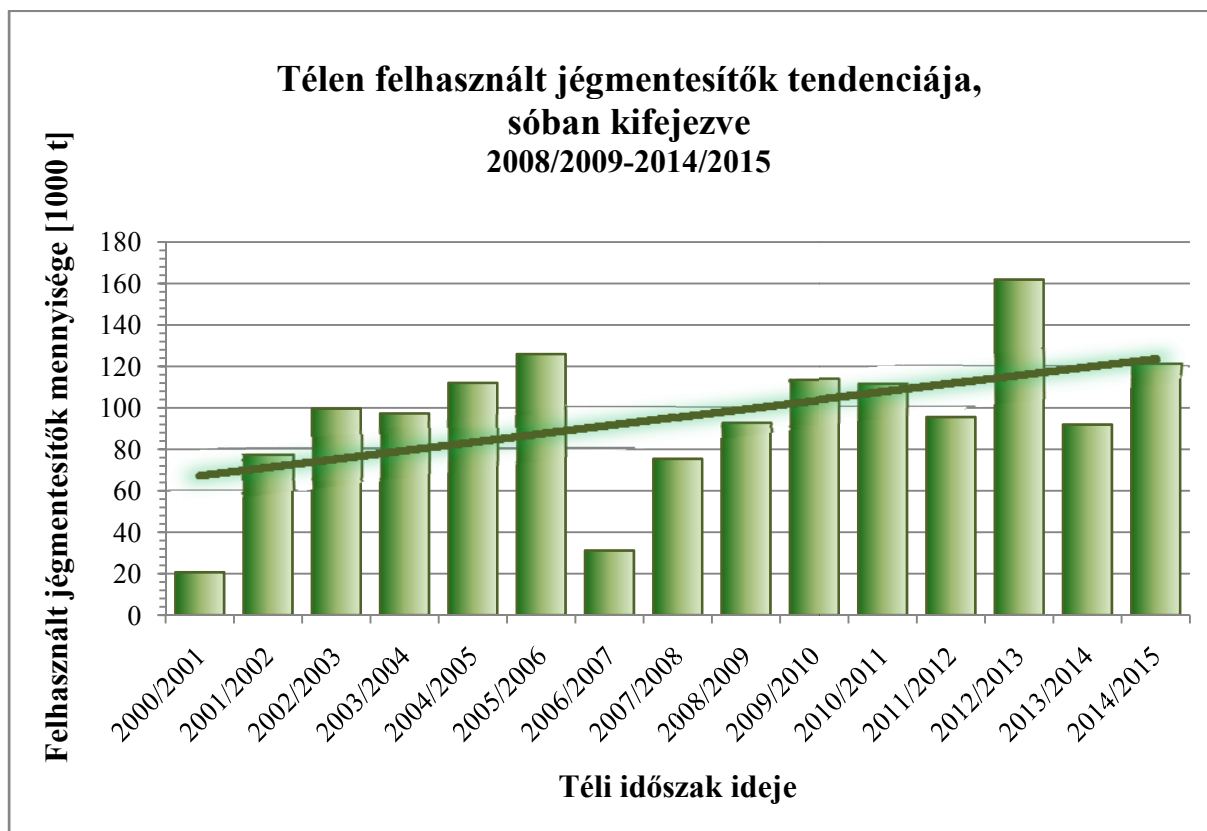
<sup>73</sup> Dr. Timár András: A magyar autópálya hálózat klímaváltozási kockázatai és azok gazdasági következményei, az ESReDA 40. konferenciáján (Bordeaux, 2011. május 25-26.) ismertetett közlemény

Az eredményeket értékelve a tanulmány kijelentette, hogy az üzemelő magyarországi gyorsforgalmi úthálózattal kapcsolatos klímaváltozási kockázatok és azok gazdasági következményei a jelenlegi mérnöki gyakorlatban alkalmazott, esetleg kissé módosított (elsősorban a változó körülményekhez idomuló) tervezési és üzemeltetési előírásokkal, eljárásokkal kezelhetők.

## 7. Saját kutatás: a közúthálózaton felhasznált téli jégmentesítők tendenciája

Saját kutatás keretében vizsgáltam a Magyar Közút több éves adatsorait, amik a télen használt jégmentesítő anyagok felhasznált mennyiségeit tartalmazták. Egy összesítő táblázatot készítettem, amely a 2000-2016 közti időintervallumon a különböző üzemeltetők által évente felhasznált jégmentesítők (só,  $\text{CaCl}_2$  oldat,  $\text{CaCl}_2$  granulátum) mennyiségét tartalmazza. Az adatok egyik felét egy már elkészített összesítésből szereztem meg, míg a másik feléhez az egyes megyék téli jelentéseit használtam fel.

A kutatásommal a klímaváltozás azon hatását akartam támasztani, miszerint növekszik a téli átlaghőmérséklet és csökken a hideg időjárási szélsőségek gyakorisága. Feltételeztem, hogy emiatt csökkenő tendencia lesz kimutatható a télen alkalmazott jégmentesítők felhasznált mennyiségében. Azonban a vizsgálat ennek ellenkezőjét mutatta ki, a felhasznált mennyiségek nőttek (34. ábra).



**34. ábra Téli felhasznált jégmentesítők tendenciája (2000/2001-2014/2015) saját kutatás alapján**

Kutatásomban azért épp ezzel foglalkoztam, mert a felhasznált jégmentesítők mennyiségi tendenciája egy viszonylag tisztán visszakövethető adatsor, ami jellemzi a téli üzemeltetést, és ami így szoros összefüggésben áll a klímaváltozással. Általában a klímaváltozási eseményekhez köthető hatások nagyon nehezen számszerűsíthetők, csak hosszas, sok becslést alkalmazó vizsgálatokon keresztül lehetséges.

Számításomban fajtánként és évenként összegeztem a egyes jégmentesítőket. Majd, mivel az egyes jégmentesítők nem feleltethetők meg közvetlenül egymásnak a (a különböző

mértékegységek és hatásfokok miatt), az egyik típust (a sót) kijelöltem alap mértékegységnek. Erre számítottam át a másik két típust, hogy az elemzést el tudjam végezni. A számítási részletek a dolgozat végén találhatóak.

A nem várt növekedést, egyéb erre irányuló vizsgálat híján a következőkkel magyaráznám:

- Az úthálózat növekedése: az úthálózat hosszának növekedése miatt a jégmentesítésre kijelölt úthosszak is nőttek.
- Technológiai/intézményi váltás: a Magyar Közút a vizsgálat kezdeti időpontja óta több reformáláson esett át, például az Autópálya Kezelő Zrt. addig külön működő egysége beleolvadt a Magyar Közútba. Az vizsgált időszakon belül megváltozhatott a szabályozás, amely meghatározza, hogy hol, milyen gyakran és mennyi jégmentesítőt kell kiszórni az útra.
- Hiba a kiinduló adatokban, nem megfelelő átváltás: bár nem valószínű, hogy ez történt, de tény hogy a rossz alapadatok meghamisíthatják az elemzést.

## **8. Összefoglaló**

Már a korai görög filozófusok (Milétoszi iskola) felismerték a természet megismerésének szükségességét, ill. a természet és az ember kölcsönhatásának és összhangjának fontosságát. Ez a természet-ember összhang az ipari forradalom óta egyre jobban károsodik, és az utóbbi évtizedekben tragikus méreteket öltött. Ezt mi sem támasztja alá jobban, mint a tudomány és a társadalom által egyaránt érzékelhető globális kihívás, a klímaváltozás, mely az élet számtalan területén egyre inkább érezteti hatását.

A tanulmányomban arra igyekeztem rávilágítani, hogy mely természeti jelenségekben, milyen formában nyilvánulnak meg a klímaváltozás hatásai, és milyen változások várhatóak a jövőben. Az előrejelzések alapján elemeztem a korábban részletezett klimatikus változások közúti infrastruktúrára gyakorolt hatásait, felsorolva az ezekből következő lehetséges káreseményeket. Az úthálózatot érintő változásokat igyekeztem európai illetve magyarországi viszonyokra szűkíteni.

A felsorolt negatív következmények számossága, a hazai és nemzetközi példák, valamint a gazdasági kitekintés megfelelően alátámasztja azt a kijelentést, hogy a klímaváltozás közúthálózatra gyakorolt hatásait szükséges, és érdemes vizsgálni. A hatások még inkább részletekbe menő, számszerű vizsgálatára van szükség Magyarországon belül, figyelembe véve a helyi viszonyokat, annak érdekében, hogy megfelelően megalapozott válaszreakciók születhessenek. Célszerű kerülni az általánosításokat, a kitettségek területi változékonysága és a hatások sokszínűsége miatt.

Kifejtettem, miért tartom a közúthálózatot különösen érzékenynek a klímaváltozás szempontjából. Részleteztem, milyen lényeges az infrastruktúra fenntartása különböző társadalmi és gazdasági indokok miatt, hiszen mai világ szervezett működéséhez elengedhetetlen a közlekedési és szállítási funkciók biztosítása. Röviden kitértem a magyar úthálózat költségvetési problémáira, hangsúlyozva azonban, hogy a megelőzés mindig nagyságrendekkel olcsóbb megoldás, mint az utólagos kárelhárítás.

Remélem, hogy a dolgozatomban kifejtett klímaváltozási káresemények bemutatása, valamint jelentőségük hangsúlyozása, segít majd közút kezelő szervezetek hatékonyabb működési elveinek kidolgozásában és a súlyos káresemények elkerülésében.

## Télen felhasznált jégmentesítők tendenciája, sóban kifejezve

**2008/2009-2014/2015**

### Adattáblából vett sok éves adatok:

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Só [t]	20 001,0	75 232,3	96 592,1	94 360,3	108 918,1	123 861,4	30 874,7	74 194,9	90 857,0	110 007,6	108 617,0	93 986,0	155 113,0	73 568,7	90 991,0	53 073,6
CaCl <sub>2</sub> oldat [l]	21 580,0	363 122,0	535 709,0	839 330,0	995 200,0	759 050,0	163 100,0	576 658,0	620 553,0	1 233 332,0	731 209,0	1 570 592,0	3 138 155,0	2 363 790,4	2 699 334,0	2 852 034,0
CaCl <sub>2</sub> granulátum [kg]	174 347,0	401 951,0	640 000,0	535 654,0	542 649,0	341 186,0	42 849,0	168 400,0	180 995,0	490 124,0	222 769,0	114 850,0	116 056,0	187 147,0	448 677,0	150 407,0

### Korrigálás

A 2015/2016-os térről túl sok a hiányzó adat, így ezt kihagyjuk az értékelésből, mert meghamisítaná azt.

A 2014/2015-ös téli összefoglaló jelentésben más adatok szerepelnek a 2010/2011 - 2014/2015 közti telekre

	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Só [t]	20 001,0	75 232,3	96 592,1	94 360,3	108 918,1	123 861,4	30 874,7	74 194,9	90 857,0	110 007,6	107 358,0	92 229,0	157 162,0	85 876,0	112 937,0
CaCl <sub>2</sub> oldat [l]	21 580,0	363 122,0	535 709,0	839 330,0	995 200,0	759 050,0	163 100,0	576 658,0	620 553,0	1 233 332,0	1 660 772,0	1 890 800,0	3 501 828,0	3 148 348,0	4 579 724,0
CaCl <sub>2</sub> granulátum [kg]	174 347,0	401 951,0	640 000,0	535 654,0	542 649,0	341 186,0	42 849,0	168 400,0	180 995,0	490 124,0	462 309,0	368 321,0	320 693,0	740 587,0	866 106,0

### Átszámítás

Internetes adatok alapján granulátumból kb. 4-ed annyi anyag elegendő, mintha sóznánk. Emiatt először az oldatot granulátumra, aztán azt sóra váltjuk.

A Magyar Közútnál min. 25 tömeg %-os oldatot kell szállítaniuk a közbeszerzés nyerteseinek.

Amikor 100 m/m% CaCl granulátumból 25 % töménységű oldatot akarna készíteni, akkor a keverési arány (a Magyar Közút Nzrt.-nél):

Oldat töménysége [%]	Összetétel	
	CaCl <sub>2</sub> [kg]	víz [l]
25	500	1500

Ez alapján az oldatokban lévő granulátum [kg]:	5395	90780,5	133927,25	209832,5	248800	189762,5	40775	144164,5	155138,25	308333	415193	472700	875457	787087	1144931
Oldat ennyi sónak felelne meg (négyeszeres szorzó) [kg]	21580	363122	535709	839330	995200	759050	163100	576658	620553	1233332	1660772	1890800	3501828	3148348	4579724
Granulátum ennyi sónak felelne meg (négyeszeres szorzó) [kg]	697388	1607804	2560000	2142616	2170596	1364744	171396	673600	723980	1960496	1849236	1473284	1282772	2962348	3464424

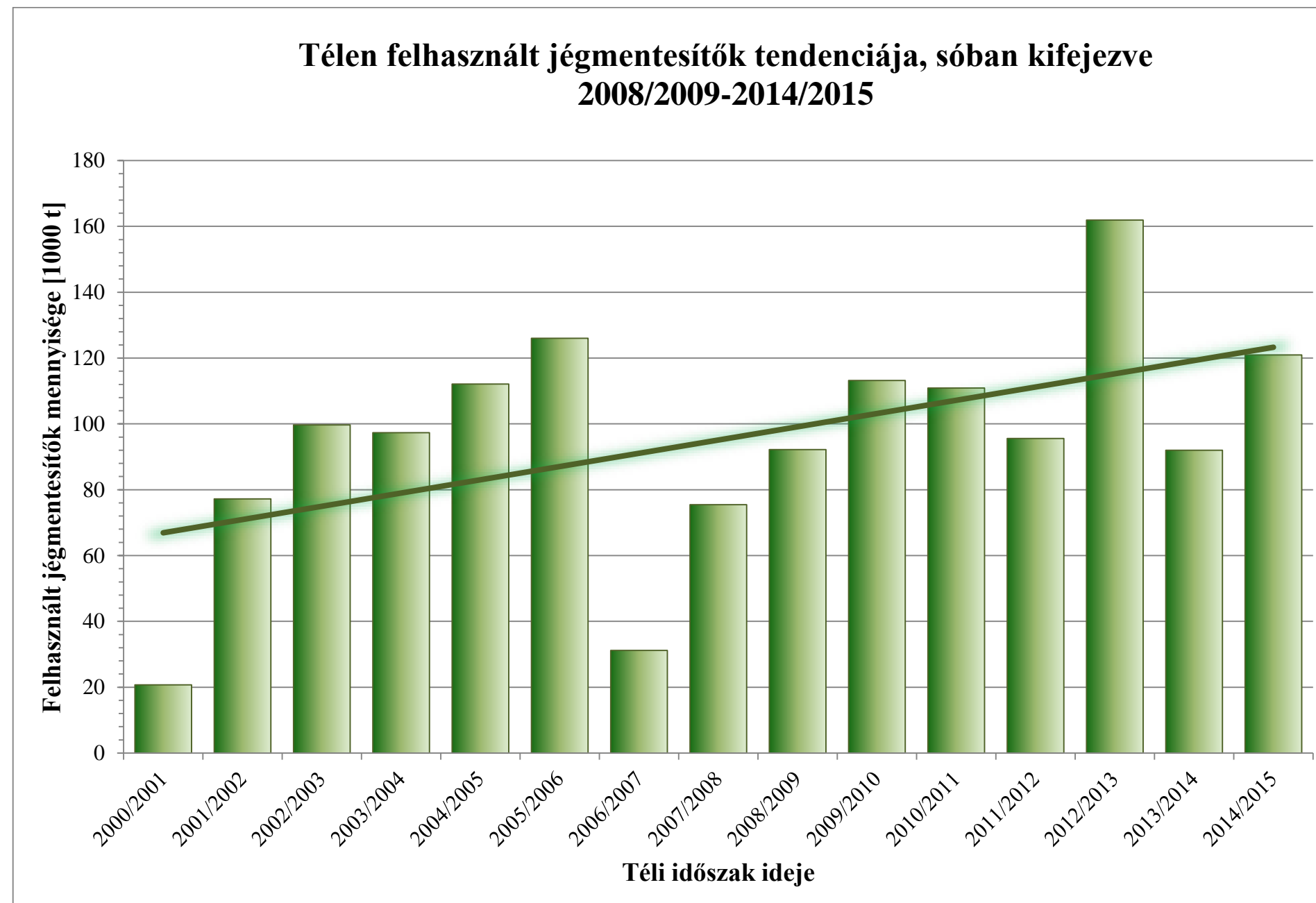


Minden átváltva tonnára:

Só [t]	20 001,0	75 232,3	96 592,1	94 360,3	108 918,1	123 861,4	30 874,7	74 194,9	90 857,0	110 007,6	107 358,0	92 229,0	157 162,0	85 876,0	112 937,0
Oldat sóban kifejezve [t]	21,58	363,122	535,709	839,33	995,2	759,05	163,1	576,658	620,553	1233,332	1660,772	1890,8	3501,828	3148,348	4579,724
Granulátum sóban kifejezve [t]	697,388	1607,804	2560	2142,616	2170,596	1364,744	171,396	673,6	723,98	1960,496	1849,236	1473,284	1282,772	2962,348	3464,424
ÖSSZESEN [t]:	20 720,0	77 203,2	99 687,8	97 342,2	112 083,9	125 985,2	31 209,2	75 445,2	92 201,5	113 201,5	110 868,0	95 593,1	161 946,6	91 986,7	120 981,1
ÖSSZESEN [1000 t]:	20,720	77,203	99,688	97,342	112,084	125,985	31,209	75,445	92,202	113,201	110,868	95,593	161,947	91,987	120,981

### Gyanús elemek vizsgálata

2006/2007 és 2000/2001 telére a többitől nagyon eltérő, kisebb eredmény adódott. Éves hőmérsékleti adatbázisok alapján viszont bebizonyosodott, hogy ezekben a teleken tényleg nagyon enyhe tél volt, mondhatni "tavasz a télen".



**Felhasznált irodalom:**

- [1] IPCC, 2014: Éghajlatváltozás 2014: Szintézis Jelentés, Döntéshozói Összefoglaló, Magyar nyelvű kiadás. Nem hitelesített fordítás. Fordítók: Huszár A., Lukács Á., Nyitrai E., Olti M.Á., Radvánszky B., Szűnyoghné Sinkó M.
- [2] Wikipédia, [https://hu.wikipedia.org/wiki/Globális\\_felmelegedés](https://hu.wikipedia.org/wiki/Globális_felmelegedés) lehívva:2016.09.10.
- [3] <http://www.globalisfelmelegedes.info/mit-tehetuenk/klimapolitika/46-kiotoi-egyezmey> lehívva:2016.09.08.
- [4] [http://europapont.blog.hu/2015/12/16/parizsi\\_klimacsucs](http://europapont.blog.hu/2015/12/16/parizsi_klimacsucs) lehívva:2016.09.08.
- [5] e-UT 03.01.11 (ÚT 2-1.201:2008), Közutak tervezése című Útügyi Műszaki Előírás
- [6] Wikipédia, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%ADmav%C3%A1ltoz%C3%A1s> lehívva: 2016.09.08.
- [7] Al Gore: A kellemetlen igazság, 2006.
- [8] Bartholy Judit, Pongrácz Rita: Klímaváltozás, 2013. Eötvös Loránd Tudományegyetem
- [9] Climate Change Effects on Wind Speed, By Eichelberger, Scott, James McCaa, Bart Nijssen, and Andrew Wood. North American Windpower, 2008. July
- [10] Extreme weather impacts on transport systems, EWENT Project Deliverable 1, By VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie, 2011.
- [11] Savonis, M.: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase, I, U.S. Climate Change Science Program, 2008
- [12] Hunyadi Dóra: A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára, Közlekedésépítési Szemle, 60. évf. 3.szám, 2010
- [13] Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II., Screening for Vulnerability Final Report, Task 3.1, By the US Department of Transportation Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Department of Transportation, Washington, DC, USA, 2014
- [14] Rábai A.: Meteorológiai alapismeretek, előrejelzések felhasználása a téli útüzemeltetésben. Téli útüzemeltetés. Útmutató és segédlet a téli útüzemeltetési és forgalombiztosítási feladatok előkészítéséhez és végrehajtásához, 1981., KPM Közúti Főosztály, pp. 13-35.
- [15] Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks, Expert Group Report, United Nations Economic Commission for Europe, New York and Geneva, 2013
- [16] Forrás: [https://hu.wikipedia.org/wiki/2013-as\\_magyarországi\\_rendkívüli\\_időjárás](https://hu.wikipedia.org/wiki/2013-as_magyarországi_rendkívüli_időjárás) , Lehívva:2016.11.01.
- [17] [http://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek\\_tanulmanyok/index.php?id=597&hir=A\\_marcius\\_14-15-i\\_hovihar\\_meteorologiai\\_elemzese](http://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=597&hir=A_marcius_14-15-i_hovihar_meteorologiai_elemzese) Lehívva:2016.11.01.
- [18] Kimura K., Namikawa Y., Sone S., Yamamoto Y.:Research on environmental impact of spread de-icing salts, Routes/Roads magazine, 1er trimestre 2010/Janvier

- [19] Dr. Gáspár László: A klímaváltozás és az útburkolatok közúti és mélyépítési szemle, 2007.március, pp. 1-6.
- [20] Dr. Timár András: A magyar autópálya hálózat klímaváltozási kockázatai és azok gazdasági következményei, az ESReDA 40. konferenciáján (Bordeaux, 2011. május 25-26.) ismertetett közlemény
- [21] R. M. Galbraith, D. J. Price, L. Shackman: Scottish Road Network Climate Change Study, 2005. július 12., <http://www.gov.scot/Publications/2005/07/08131510/15226>
- [22] MSZ EN 1991-1-4:2007, Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások, 1-4. rész:Általános hatások. Szélhatás
- [23] Burkhardt Rockel, Katja Woth: Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations, GKSS Research Centre, Geesthacht, Germany, 2007.
- [24] National Geographic Magyarország, [http://www.ng.hu/Fold/2010/06/Hogyan\\_keletkezik\\_a\\_hurrikan](http://www.ng.hu/Fold/2010/06/Hogyan_keletkezik_a_hurrikan), lehvva: 2016.10.30.
- [25] Dr. Tímár András: Közlekedési létesítmények gazdaságtana, Műegyetemi kiadó, 2002.