

Esőzés és ezzel kapcsolatos közlekedésbiztonsági üzenetek forgalmi hatásai

Sándor Zsolt

BME, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék, Zsolt.Sandor@mail.bme.hu

Abstract

Kedvezőtlen időjárási körülmények között nagy jelentőségük van az intelligens közlekedési rendszereknek, melyek az autópályák mentén telepített változtatható jelzésekű táblákon keresztül figyelmeztetik a járművezetőket a lehetséges veszélyekre. Az elmúlt évtizedekben már számos kutató foglalkozott az időjárás és a forgalombiztonság kérdéskörével, azonban az időjárási eseményekkel kapcsolatos üzenetek hatását még nem vizsgálták. Jelen tanulmány az időjárási események és az ezekkel kapcsolatos időjárásfüggő figyelmeztető üzenetek forgalomra gyakorolt hatásait vizsgálja.

Keywords: közlekedésmeteorológia, forgalomlebonyolódás, változtatható jelzésekű táblák

1 Bevezetés

A pálya, a jármű és a járművezető kapcsolatát jelentősen befolyásolják a különböző környezeti hatások. A kedvezőtlen időjárási események és állapotok a pálya-jármű kapcsolatra hatnak, melyekhez a járművezetők vezetési stílusuk változtatásával alkalmazkodnak. Az esemény kiterjedésétől és intenzitásától függően számottevően változhatnak a forgalmi és közlekedésbiztonsági paraméterek.

Az időjárási események közül az esőzésnek van a legjelentősebb hatása a forgalomlebonyolódásra a rossz látási viszonyok, a jármű és útburkolat között lecsökkent tapadási tényező és a vizen csúszás (aquaplaning) veszélye miatt. Ilyenkor a járművezetők csökkentik sebességüket, növelik a követési távolságot, ami a forgalmi áramlat lassulását és az utazási idő növekedését eredményezi. A sebességcsökkenés hatására megváltoznak a folytonos forgalomáramlási folyamatot leíró sebesség-sűrűség függvények is, eltolódik a stabil és az instabil tartomány.

Magyarországon 2012-ben az összes személyi sérüléssel közúti balesetek 20,9%-a nedves, havas vagy jeges úton következett be. Kedvezőtlen időjárási körülmény (köd, eső, vihar, havazás, ónos eső stb.) a balesetek 8,7%-nál állt fenn [1]. A gyorsforgalmi úthálózaton bekövetkezett személyi sérüléssel járó balesetek 13,3%-ánál állt fent kedvezőtlen időjárási helyzet, és 21%-ánál volt nedves vagy csúszós az útburkolat. Kedvezőtlen időjárási körülmények esetén a ködös és az esős időben következett be a legtöbb baleset.

A kutatási téma aktualitását a kedvezőtlen baleseti adatok is alátámasztják. Ezen kívül az alábbi tényezők is motiválták a kutatást:

- hazánkban még nem készült olyan vizsgálat, amely az időjárási paraméterek forgalomlebonyolódásra gyakorolt hatásait vizsgálta;
- az utóbbi években egyre gyakoribbak és intenzívebbek a szélsőséges időjárási jelenségek (extrém csapadék, szél stb.);
- a járművezetők által tanúsított magatartás megismerése további kutatásokhoz (pl. vészhelyzeti forgalomszabályozás) bemenő adatként szolgálhat;
- a gyorsforgalmi úthálózaton a járművezetők magasabb sebességgel haladnak, az utak kiépítése eltérő a főútvonalakhoz képest;
- a pályamenti kollektív tájékoztató berendezések segítségével befolyásolható a járművezetők magatartása.

Míg az ITS-S megoldások elsődleges célja a forgalombiztonság és forgalomlebonyolódás hatékonyságának növelése, addig az útmeteorológiai rendszerek az aktuális meteorológiai és útviszonyokról szolgáltatnak információt az üzemeltetőknek és a járművezetőknek.

Az időjárási tevékenységek forgalomlebonyolódásra gyakorolt hatásával kapcsolatos vizsgálatok a 70-es évektől váltak egyre intenzívebbé. Az intelligens közlekedési rendszerek és szolgáltatások és az útmeteorológiai tájékoztató rendszerek széleskörű elterjedése valamint a változtatható jelzésekű táblák alkalmazása a 90-es évektől kezdve mind Európában, mind Amerikában újabb lendületet adtak a kutatásoknak.

Ezen időszakról kezdve már rendelkezésre álltak olyan gépi rendszerek, melyek lehetőséget biztosítottak a valós idejű adatgyűjtésre és tájékoztatásra. Így lehetőség volt az időjárási események kedvezőtlen hatásainak mérésére a tájékoztatás által, és annak mérésére, hogy az információk milyen hatással vannak a közlekedőkre.

A VJT-ek elsősorban a forgalomirányítással kapcsolatos üzenetek megjelenítésére használják. Az ilyen jellegű események az üzemeltetés relatíve kis hányadát érintik, így az alacsony kihasználtság elkerülése érdekében, azon országokban ahol a helyi szabályozás engedi, lehetőség van forgalombiztonsági üzenetek megjelenítésére is, összhangban az ITS megoldások alapvető céljaival.

Az infokommunikációs technológia fejlődése, a berendezések elterjedése, a hatékonyabb (gyorsabb, pontosabb) tájékoztatás adta lehetőségek és a járművezetők viselkedésének tanulmányozása számos kutatást foglalkoztatott. Elkezdték tanulmányozni, hogy a VJT-ken megjelenített információk milyen hatással vannak a járművezetők magatartására: döntési helyzetekben az információk hatására hogyan viselkednek, kedvező vagy kedvezőtlen időjárási körülmények között hogyan reagálnak a közlekedésbiztonsággal kapcsolatos üzenetekre, betartják-e az ajánlásokat, javaslatokat.

A kutatás során vizsgálataimat a hazai gyorsforgalmi úthálózatra szűkítettem. Az infrastrukturális adottságok csak ezen útszakaszokon biztosítják azt a széleskörű adatgyűjtést és információ megjelenítést, mely alapján a vizsgálatok elvégezhetőek voltak.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 Időjárás eseményekkel kapcsolatos vizsgálatok

Az időjárás események forgalomra gyakorolt hatásainak tudományos vizsgálatának kezdete az 1950-es évek elejére nyúlik vissza. Elsőként [2] vizsgálta az összefüggéseket, majd ezt követően a közlekedés meteorológiai kutatások a 70-es évektől váltak egyre intenzívebbé.

Az eredmények egymással való összehasonlítása nem egyszerű, mivel eltérők az alkalmazott forgalmi és meteorológiai adatgyűjtési módszerek; a vizsgálati helyszínek és időpontok; a vizsgálat helyszínétől választott pályaszakaszok és azok kiépítettsége; a forgalom összetétele; az alkalmazott berendezések műszaki színvonala és még számos más tényező. Ugyanakkor kijelenthető, hogy a kedvezőtlen időjárás viszonyok csökkentik az utazási igényeket, főleg hétfégen és munkaszüneti napokon. A közlekedési eszközválasztást szintén befolyásolja az időjárás. Azokban az országokban és régiókban, ahol magas a kerékpárosok és a motorosok részaránya, csapadékos idő esetén a felhasználók a kétkerekű közlekedési módra áttérnek zárt utasterű eszközökre. Ez a mobilitás fejlettségi fokától függően lehet egyéni motorizált közlekedés vagy akár közösségi közlekedés is.

[3] a balesetek alakulását vizsgálta száraz és esős időben. Kutatásában rávilágított, hogy Nagy Britanniában a balesetek 31%-a esős időben – nedves útfelületen – történik és ezek közel fele akkor, amikor esik az eső. [4] megállapították, hogy az esőzés nappal 1,9%-kal, éjjel 5,2%-al növeli a balesetek számát.

[2] Angliában végzett kutatásokat, aminek során a forgalom nagyság és a csapadék intenzitása között negatív korrelációt mutatott ki, és kiszámította, hogy a csapadék intenzitása hány százalékkal csökkenti a személygépjárművek forgalm nagyságát (1,3-3,1 % /mm/h). [5] kutatásában a holland autópálya forgalmi paramétereit vizsgálta, és érdekes módon nem talált jelentős különbséget a csapadékos és a száraz időben tapasztalható forgalm nagyságok között, továbbá a modal split-ben sem történt változás. [6] a nyári hónapokban vizsgálta az esőzés hatását Chicagóban, a városi forgalomban, melynek hatása hétköznap elhanyagolható, azonban hétfégen 9%-al csökkenti a forgalmat. [7], [8] kimutatta, hogy a tokiói városi autópályán esős időben hétköznap közel 3%-kal csökken a forgalom, míg hétfégen átlagosan 6-7%-kal. [4] Ausztráliában, Melbourne-ben vizsgálta az esőzés hatásait. Kimutatták, hogy tavasszal és nyáron, akár 2%-kal is csökkenhet a forgalom esős időben. A forgalomcsökkenés annál nagyobb, minél intenzívebb az esőzés.

[9] kimutatta, hogy az esőtől függően az autópálya kapacitása 4-7%-kal de intenzív csapadék esetén akár 14%-kal is csökkenthet. Az esőzés az adott útszakaszon elérhető maximális szabad sebességére is hatással van. Egy útszakasz kapacitására az esőzéstől kívül a nappali és az éjszakai látási viszonyok is hatással vannak: télen, a sötét órákban a nyári értékekhez képest 12,8%-kal csökkent a kapacitás.

[10] Malajziában vizsgálták az időjárás hatásait. Vizsgálataik eredményét az esőzés intenzitásától függően három csoportra bontották:

- kis intenzitás esetén (<2,5 mm/h) a kapacitáscsökkenés 8%, azonban kis járműsűrűség esetén (5-25 jármű/km) a hatás nem mérhető.
- közepes intenzitás esetén (2,5-10 mm/h) jelentősen, akár 50%-kal is visszaeshet.
- nagy intenzitás esetén (10-50 mm/h) 31%-os kapacitáscsökkenés volt megfigyelhető.

Továbbá megállapították, hogy azokon a szakaszokon, ahol 30% feletti a kapacitás csökkenés csapadékos időjárás esetén, ott száraz időben is jelentős torlódások alakulhatnak ki.

[5] Hollandiában a követési időközök változását vizsgálta. [2010] Malajziában folytatott vizsgálatokat a követési időközökkel kapcsolatosan.

Az időjárással a baleseti kockázat is szorosan összefügg. Finnországban a baleseti kockázat a havas úton 9-szer, jeges úton 20-szor nagyobb, mint száraz úton [12], [13]. Norvégiában ez az érték havas vagy jeges úton 2,5-szer nagyobb, mint száraz úton [14]. Kanadai kutatások kimutatták [15], hogy esőzés közben a baleseti kockázat 70%-kal magasabb, mint száraz körülmények között. Kalifornia államban esős napokon kétszer annyi baleset történt, mint száraz időben [16]. [17] amerikai és izraeli adatok alapján megállapították, hogy esős időben a baleseti kockázat két-háromszorosa a száraz időben tapasztalhatónak. Ez a kockázat ráadásul akkor magasabb, ha az esőzés hosszabb, száraz időszak után következik be. Ennek elsősorban pszichológiai magyarázata van: a hosszan tartó kedvező adottságok között a járművezetők elszoknak a megváltozott út- és időjárás viszonyoktól.

A havazás forgalomra gyakorolt hatását több kutató is vizsgálta: [18], [19]. Megállapították, hogy havas időben a forgalm nagyság jóval – akár 30%-kal – is alacsonyabb, mint száraz időben. A baleseti ráta azonban havazás esetén magasabb, mint száraz időben, azonban ahhoz képest kevesebb személyi sérülés következik be. A súlyos és halálos balesetek száma száraz időjárás körülményekhez képest alacsonyabb. A kutatások kimutatták, hogy a téli időszak kezdetén az első hóeséssel járó napokon több baleset történik. [20] kimutatta, hogy a téli időszak kezdetén 3,5-szer nagyobb a baleseti kockázat, mint a végén. Ennek szintén közlekedés pszichológiai hatása van, ugyanis a téli időszak

kezdését követően a járművezetők már sokkal felkészültebbek, és az adott időjárási körülményeknek megfelelő magatartást tanúsítják.

2.2 Időjárási eseményekkel kapcsolatos közlekedésbiztonsági üzenetek hatásaival kapcsolatos kutatások

Az utóbbi években számos kutató foglalkozott a VJT-ken megjelenő információk forgalomlebonyolódásra gyakorolt hatásával, azonban ezek rendre a (sebesség) korlátozásokat, tereléseket és útvonalajánlásokat megjelenítő üzenetekre korlátozódtak. Az ITS rendszerek segítségével megjelenített (VJT) – az aktuális környezeti körülményekhez igazodó közlekedésbiztonsági – üzenetek hatásával alig foglalkozottak.

[21] a VJT elterjedésével kapcsolatosan végzett kutatásokat. Vizsgálatai során megállapította, hogy a VJT-ekkel megvalósított változtatható sebességszabályozást (haladási sebesség csökkentést) jobban betartották, ha a sebességet jelző piktogramot az okra vonatkozó üzenettel (szöveges vagy piktogramos megoldás) együtt jelenítették meg. Amennyiben csak a veszélyt jelező üzenetet jelenítették meg, az kevésbé volt hatékony (kevesebben csökkentették sebességüket), mint a kombinált megoldás, ráadásul a kutatás kimutatta, hogy a járművezetők könnyebben értelmezik a képi információkat, így a szöveges megjelenítés kerülendő.

[22] Finnországban folytatott vizsgálatokat, mely során a kedvezőtlen meteorológiai körülmények hatására aktiválódó különböző jelzéseképekre (figyelmeztető tábla – csúszós útburkolat, minimális követési távolság) adott forgalmi reakciókat vizsgálta. Az eredmények kimutatták, hogy a csúszós útburkolatra vonatkozó jelzésekép 1-2 km/h-val csökkentette a sebességet. Amennyiben a jelzést sebességszabályozással együtt alkalmazzák, úgy 100-ról 80-ra csökkentve a maximális sebességet, az átlagsebesség helyszíntől és a megjelenített információtól valamint annak módjától (állandó jelzésekép vagy villogó) függően 3,4-5,3 km/h-val csökkent és a szórás is kisebb lett.

Svédországban az útmeteorológiai rendszert összekapcsolták a VJT-vel. A rendszer az aktuális útviszonyoknak megfelelően az ajánlott sebességet jeleníti meg. Ennek hatását [23] vizsgálta. Megállapította, hogy az ajánlás hatására az átlagsebesség kb. 10%-kal csökkent, a sebességek egyenletesebbé váltak és a követési távolság növekedett.

Hollandiában a VJT-ek forgalmi információszolgáltatásra és általános tájékoztatására is használják egyszerre. Ezzel kapcsolatosan [24] végzett kikérdezéssel egybekötött felmérést. A járművezetők úgy nyilatkoztak, hogy az általános üzenetekre nem fordítanak különösebb figyelmet. A szerzőpáros megállapította, hogy a feltételezésekkel ellentétben a megjelenített kiegészítő információ nem hordoz negatív hatást.

Angliában több kutató és kutatócsoport is foglalkozott a járművek jelenléte esetén aktiválódó jelzőberendezések hatásával. A gyorshajással foglalkozó kutatócsoport [25] az Egyesült Királyság 10 helyszínén felszerelt elektronikus kijelzők hatását vizsgálták, melyek a mérést követően azonnal megjelenítették a járművek sebességét, így a járművezető tisztában volt az aktuális sebességével. A rendszer célja a gyorshajó járművek számának csökkentése. A kutatás kimutatta, hogy a helyszíni vizsgálatok során 11 km/h-val csökkent az átlagsebesség az érintett területeken. [26] az országsszerte számos helyszínen telepített berendezésekkel kapcsolatosan végzett kutatást. A berendezések gyorshajó járművek esetén aktiválódtak, és helyszíntől függően különböző jelzéseképeket jelenített meg. A kutatás során összehasonlították a telepítés előtti és a telepítés utáni forgalmi és baleseti adatokat. Az eredmények jelentős sebességcsökkenést mutattak ki, mely helyszíntől és a megjelenített üzenettől függően 6-22 km/h sebességtartományba esett.

Szintén Angliában [27] egy ködre figyelmeztető rendszer hatásait vizsgálta, mely automatikusan érzékelt a látótávolság csökkenését, és erről az érintett terület előtt – a látótávolságtól függően – 0,8-3,8 km-rel VJT-ken tájékoztatta a járművezetőket. Az üzenet hatására a haladási sebesség átlagosan 2,9 km/h-val csökkent (belső sávokban jobban, külső sávokban kevésbé; gyorsabban haladó járművek az átlagos sebességnél alacsonyabbra csökkentették sebességüket).

Hollandiában [28] és Amerikában [29] szimulátoros vizsgálatokat végeztek, melyek során összehasonlították, hogy a járművezetők virtuális környezetben hogyan reagálnak a VJT-ken, illetve a járműfedélzeti berendezéseken megjelenő üzenetekre. Hollandiában a sorhosszról szóló információkat közölték a járművezetőkkel, míg Amerikában meteorológiai és baleseti kockázatról szóló információkat. Az eredmények azt mutatják, hogy a járművezetők a figyelmeztető üzenetek hatására mérséklik sebességüket, azonban a járműveken kívül megjelenő üzenetek esetén intenzívebb a hatás.

[30] Kanadában folytattak forgalmi vizsgálatokat, mely során két különböző, a gyorshajással összefüggő üzenet hatását mérték. Az eredmények alátámasztották a kikérdezéses elemzést, mely szerint a járművezetők a pszichológiai (lelki) hangvételű üzenetek esetén jobban lelassítanak, mint az általános – büntetésre felhívó – üzenet esetén.

3 Kutatási módszertan

A kutatás során két független vizsgálatot végeztem:

- Csapadéktevékenység forgalomlebonyolódásra gyakorolt hatásának megállapítása (csak a csapadék hatása).
- Időjárási eseményekkel kapcsolatos közlekedésbiztonsági üzenetek forgalomlebonyolódásra gyakorolt hatásának mérése (csapadék + erről szóló üzenet, illetve csak az üzenet hatásának mérése.)

A vizsgálatok kiterjedtek az infrastruktúrára (pályahálózat és útmenti berendezések), a támogató informatikai rendszerre (adatgyűjtés, feldolgozás) és az alkalmazott üzemeltetési gyakorlatra. A vizsgálati helyszín kiválasztása mindezek ismeretében történt, majd ezt követte az adatelemzés és az eredmények meghatározása.

3.1 Infrastruktúra

Az elemzés kiterjedt a pályahálózat (hossz, szakaszok, geometria, csomópontok, sávszám, stb.) és az útmenti berendezések vizsgálatára. Ehhez az Állami Autópálya Kezelő (ÁAK) Zrt. rendelkezésemre bocsájította a vizsgálat

lefolytatásához szükséges helyszín és berendezés adatokat km szelvény, pályaoldal és berendezés típusok szerinti bontásban.

- **Meteorológiai állomások:** a gyorsforgalmi utak mentén egymástól 10-15 km-re helyezkednek el, időjárás szempontból nagy eseménypotenciállal rendelkező területen.
- **Forgalomszámláló állomások:** általában csomópontok között található. Szinte mindegyike „duplahurkos” kialakítású, így képesek sebességmérésre is, és rendelkeznek piezoelektromos érzékelővel is, ami lehetővé teszi a járműkategóriák megkülönböztetését.
- **Változtatható jelzéseképű táblák:** nagy eseménypotenciállal rendelkező területekre telepítik, ahol a forgalmi vagy baleseti jellemzők ezt indokolják. Számuk az utóbbi években folyamatosan növekszik.

3.2 Támogató informatikai rendszer

A gyorsforgalmi úthálózat forgalmi menedzsmentjét az ÁAK Zrt (2013. november 1-je óta Magyar Közút NZrt.) Forgalom Irányító Rendszer (FIR) valósítja meg, mely támogatja az ITS rendszerekre jellemző a háromszintű felépítést:

- Adatgyűjtést megvalósító rendszerek
- Feldolgozási folyamatokat támogató rendszerek
- Beavatkozó, információszolgáltató rendszerek

Az adatgyűjtés során a FIR rendszer feldolgozza az útmenti adatgyűjtő berendezésekből érkező forgalmi és útmeteorológiai adatokat.

A **meteorológiai állomások** 10 percnként továbbítják az alábbi adatokat: berendezés azonosító, hőmérséklet, harmatpont, fagypont, relatív páratartalom, csapadék típusa, intenzitása, útburkolat állapota, útburkolat hőmérséklete, burkolaton sókoncentráció, burkolati vízréteg vastagsága, szélirány, szélsébség, szélhőkés. A **forgalomszámláló állomások** 6 percnként továbbítják a megelőző 6 perces mérési intervallumban elhaladt járművek darabszámát és sebességeik átlagát, valamint ugyan ezen adatokat személy- és tehergépjárművekre bontva. A **változtatható jelzéseképű táblák**on megjelenített jelzéseképeket percre pontosan a FIR rendszer tartalmazza, így visszakereshető, hogy mikor milyen jelzéseképeket jelenítettek meg a berendezések.

Az informatikai rendszer a feldolgozás során egybeveti a beérkező adatokat a korábban beállított határ paraméterekkel. Így a rendszer a mért forgalmi és meteorológiai értékek alapján az időjárás állapot romlása vagy a forgalom torlódása esetén riasztja a diszpécst. A rendszer képes átvenni riasztásokat az alrendszerekből, és rendelkezik egy intelligens, adaptív modullal, aminek legfontosabb része az ún. stratégia tár. Ebben a stratégia tárban lehetőség van eseményekhez beavatkozási stratégiákat társítani, például bizonyos időjárás körülmények, vagy baleset esetén képes a rendszer a közelben elhelyezkedő VJT-re jelzésekép módosítási javaslatot tenni. A javaslatra adott válaszból és az eseményhez kapcsolódó diszpécseri beavatkozások alapján pedig az adaptív modul képes ezt a stratégiát módosítani. A rendszer csak javaslatot tesz a diszpécsernek, automatikusan nem végez beavatkozásokat. **Manuális jóváhagyás minden esetben szükséges.** Beavatkozás elsődlegesen a változtatható jelzéseképű táblákon keresztül valósul meg, így lehet felhívni a járművezetőket figyelmét az esetleges veszélyforrásra, és lehet javaslatot adni a követendő magatartásra.

Az informatikai rendszerből lehetőség volt a szükséges forgalmi és meteorológiai valamint naplózott táblakép adatokat kinyerni, melyet a társaság táblázatos vagy excel fájlal át alakítható szöveges formátumú fájlban adott át.

3.3 Alkalmazott üzemeltetési gyakorlat

Az autópálya kezelő társaságok a hatályban lévő útügyi műszaki előírásoknak megfelelően [31], [32] és saját belső szabályzataik értelmében [33], [34] kedvezőtlen időjárás viszonyok esetén (aquaplaning veszély, jegesedés, köd, vizes útburkolat stb.) jogosultak figyelmeztető vagy tájékoztató üzenetek megjelenítésére. A VJT-k üzemeltetésére vonatkozó irányelveknek megfelelően az üzeneteknek az alábbi veszélyességi prioritás szerint kell megjeleníteniük:

- Baleset
- Torlódás, pályazár
- Időjárás okozta kockázat (csúszós úttest, köd, hófűvés)
- Forgalomterelés, munkavégzés, lezárások
- Más pályán/más közútkezelő területén bekövetkező forgalmi események
- Egyéb

Időjárással összefüggő üzenet akkor jeleníthető meg, ha a pálya időjárás eseménnyel érintett szakaszán nincs baleset és forgalmi korlátozás. A jelzéseképek megjelenítéséért az érintett autópálya mérnökségek felelősek. A Téli üzemeltetési szabályzat [33] és a Forgalomirányítási eszközök üzemeltetéséről szóló szabályzat [34] számos kötelező előírást meghatároz, azonban a helyzetértékelésében komoly mozgásterük van a mérnökségeknek. Riasztás vagy észlelés esetén az aktuális forgalmi és időjárás helyzettől függően helyi szinten hozzák meg a döntést a szükséges beavatkozásról (pl. télen preventív sózás stb.) és a megfelelő táblaképek kivezrléséről.

3.4 Helyszínválasztás

A csapadéktevékenység hatásának méréséhez olyan helyszíneket választottam, ahol a forgalomszámláló állomás néhány km-es közelségében nem található VJT vagy ha igen, akkor azt időjárással összefüggő üzenetek megjelenítésére nem használták a csapadéktevékenységgel érintett időszakokban.

Ezzel szemben a VJT-ken megjelenített üzenetek forgalomlebonylódásra gyakorolt hatásainak méréséhez olyan szakaszokat választottam, ahol a forgalomszámláló állomás 5-600 méteres környezetében telepítettek VJT-t. Ez a távolság elegendő arra, hogy a tábla alatt való elhaladás után a járművezető értelmezze az üzenetet és annak megfelelően változtasson az aktuális vezetési módján.

Az M3-as és M7-es autópályán, a forgalmi szempontok alapján öt keresztmetszetet jelöltem ki (2-es függelék VII.1-es táblázat, VII.1-es ábra). A kiválasztásánál fontos tényező volt, hogy eltérő forgalmi paraméterek jellemezzék az adott keresztmetszetet.

Olyan helyszíneket választottam, ahol rendelkezésre áll az összes adatgyűjtő és információ megjelenítő eszköz, továbbá az adott autópálya vagy autótú szakaszon nem található fel és lehajtó az információt megjelenítő eszköz és a mérőberendezés között. Vizsgálataimhoz az M31-es autópálya 6-10 km szelvény közötti és az M0-ás autótú 50-67 km szelvény közötti szakaszai választottam. A szakaszok elhelyezkedése és az adatgyűjtő berendezések helyét pályaoldalanként a 2-es függelék VII.2-es és VII.3-as táblázata valamint a VII.2-es ábra tartalmazza.

3.5 Adatelemzés

A kutatás egymástól független adatsor (táblázat) manuális összehasonlításából állt, mely során az alábbi adatok vettem egybe:

- meteorológiai adatok (órás bontásban tartalmazta az állomások által rögzített adatokat),
- forgalomszámláló állomások által szolgáltatott adatok (1-es táblázat),
- VJT-ken megjelenített jelzések naplófájlja (táblázatos formátum: portál, jelzések aktiválásának és deaktiválásának időpontjai) **b) jelű**, az üzenetek forgalomra gyakorolt hatásának vizsgálata esetén).

Autópálya	Km szelvény	Mérési intervallum	Irány	Sáv	Összes jármű	Szkg	Tgk	Átlagsebesség	Szkg átlagsebessége	Tgk átlagsebessége
...
M3	051 + 888 km	2012.05.07. 22:54 - 23:00	bal	haladó	15 db	10 db	5 db	103.67 Km/h	113.0 Km/h	85.0 Km/h
M3	051 + 888 km	2012.05.07. 22:54 - 23:00	bal	előző	2 db	2 db	0 db	115.0 Km/h	115.0 Km/h	0.0 Km/h
M3	051 + 888 km	2012.05.07. 22:54 - 23:00	jobb	előző	0 db	0 db	0 db	0.0 Km/h	0.0 Km/h	0.0 Km/h
M3	051 + 888 km	2012.05.07. 22:54 - 23:00	jobb	haladó	21 db	14 db	7 db	78.81 Km/h	85.0 Km/h	66.43 Km/h
...

1-es táblázat: Forgalomszámláló állomások által gyűjtött adatok – adatstruktúra

A vizsgálati helyszíneknél kiválasztottam időjárási szempontból eseménytelen, de megegyező forgalmú időszakokat (kontroll adat) – nap, napszak, forgalomnagyság, forgalmi összetétel. Az időjárási eseményekkel érintett napokra vonatkozóan az **a)** jelű vizsgálathoz a meteorológiai adatokat a legnagyobb hazai magánszolgáltató biztosította (forgalomszámláló állomásokhoz legközelebb elhelyezkedő meteorológiai állomások adataival), míg a **b)** jelű vizsgálathoz az ÁAK Zrt saját mérőhálózatából származó adatokat használtam. A feldolgozási folyamat során a meteorológiai adatokat összevettem az Országos Meteorológiai Szolgálat által mért adatokkal, hogy a hamis adatokat kiszűrjem.

Az érintett napokra vonatkozóan az ÁAK Zrt. a rendelkezésére bocsájtotta a forgalomszámláló állomások által mért nyers forgalmi adatokat (5.2-es táblázatban bemutatott formátumban), melyek segítségével az elemzés elvégezhető volt. A vizsgálat során összehasonlításra kerültek az időjárási szempontból kedvező (száraz, csapadékmentes) és kedvezőtlen (esős) időszakok forgalmi adatai, sávonkénti bontásban. Így lehetőség volt az időjárás forgalomfolyásra – elsősorban a sebességre – gyakorolt hatásának vizsgálatára.

A forgalmi adatoknál csak a sebességváltozást lehetett vizsgálni, mivel forgalmi sűrűség, követési időközök és egyéb jellemzőket az országos közúthálózaton sehol nem mérnek. A forgalmi adatoknál külön vizsgáltam a haladó és előző sávon mért sebességeket, mind a személy- mind a tehergépjárművekre vonatkozóan. Az időjárási eseménnyel érintett, valamint az azt megelőző és az azt követő időszakokban vizsgáltam a sebességváltozások alakulását, így a hatások összemérhetővé váltak.

A **b)** jelű vizsgálathoz a forgalmi és meteorológiai adatokon kívül az érintett napokra az ÁAK Zrt. FIR rendszerből kiszűrte, hogy mely táblákon mikor, milyen jelzések szerepeltek.

Az **a)** jelű vizsgálat során 2010 májusától 2012 októberéig kiválasztásra került 180 olyan nap, amikor forgalmi szempontból jelentős csapadék hullott. Ez a 180 nap azonban nem 180 időjárási eseményt jelent, hanem többet, ugyanis voltak olyan napok, amikor a teljes napi csapadékösszeg nem egyszerre, hanem több hullásban esett. A vizsgált események időbeliségét tekintve előfordultak nappali és éjszakai, természetes és mesterséges látási viszonyok, hétköznapi és hétvégi, téli és nyári, valamint alacsony és magas forgalmú időszakok is.

Az **b)** jelű vizsgálat során a két gyorsforgalmi úton 2011. május 15-től 2013. március 18-ig összesen 176 „eseményt” (üzenetet), azon belül négy jelzések hatásait vizsgáltam – csúszásveszély (82), vizes/nedves útburkolat (83), ködfoltos útszakasz (4), sósórárs / síkosságmentesítés (7). A sebességváltozásokat eltérő csapadéktípusok és fagyveszély esetén is tanulmányoztam.

Utanként:

- **M0-ás autótú:** csúszásveszély (69), vizes/nedves útburkolat (82), ködfoltos útszakasz (3);
- **M31-es autópálya:** csúszásveszély (13), sósórárs / síkosságmentesítés (7), ködfoltos útszakasz (1), nedves burkolat (1). A téli időszakban 2012. október 26-tól 2012. december 7-ig.

4 Eredmények

A kutatási eredmények általános érvényű és jelzésekép-specifikus eredményekre választhatók szét.

4.1 Általános megállapítások

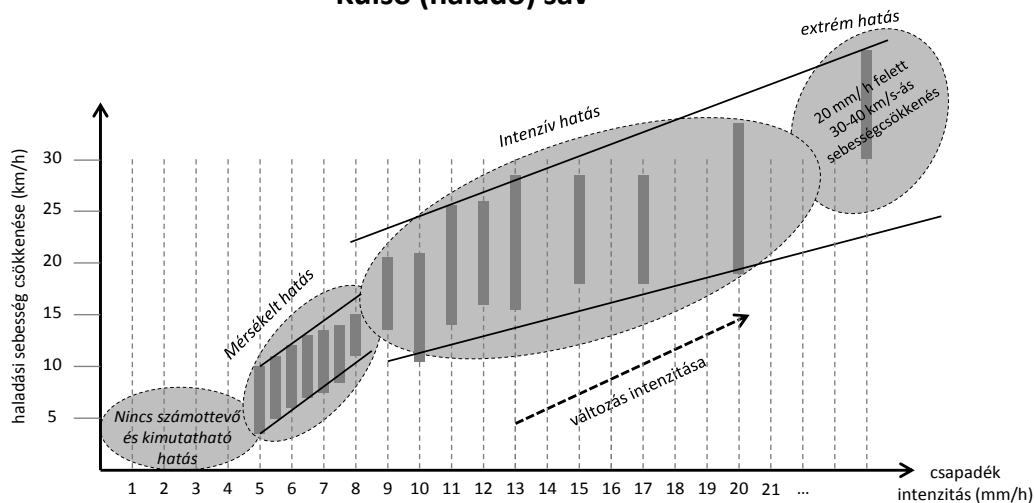
Az **a)** és **b)** jelű vizsgálatokkal kapcsolatos, általánosan érvényes megállapítások:

A csapadék intenzitástól függően több csoportot lehet megkülönböztetni:

- 0-4 mm/h-ig: nincs számottevő hatás, a haladási sebesség megváltozása elenyésző (mérési hibahatáron belüli);
- 5-10 mm/h-ig: mérsékelt hatás, a sebességváltozás maximum 10-20 km/h;
- 10-20 mm/h-ig: intenzív hatás, a sebességváltozás 15-40 km/h is lehet;
- 20 mm/h intenzitás felett extrém hatások, a sebesség megváltozása 40 km/h-nál nagyobb is lehet.

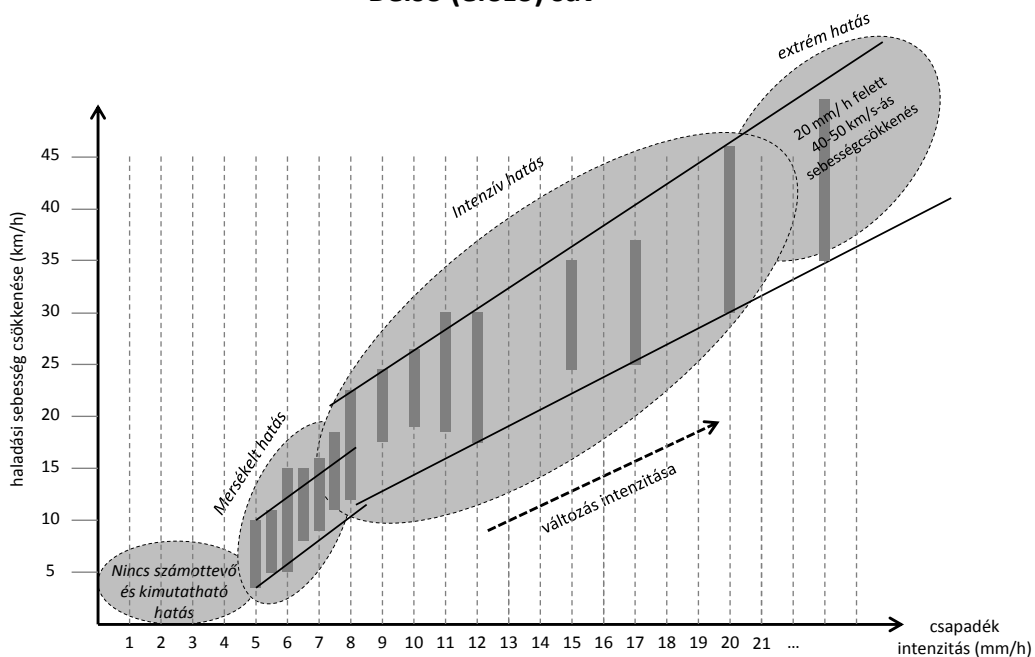
A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a sebességsökkenés nem azonos; minden egyes intenzitáshoz egy-egy tartomány tartozik. Kétsávos autópályára vonatkozóan az 1-es és 2-es ábra forgalmi sávonként ezt a tartományt szemlélteti. Az esőzés intenzitásának növekedésével a tartomány egyre szélesebbé válik. A függőleges sávok az egyes intenzitáshoz tartozó sebességsökkenést szemléltetik (adott intenzitásnál előforduló változások).

Külső (haladó) sáv



1-es ábra: Csapadék intenzitásának a külső sáv sebességére gyakorolt hatása

Belső (előző) sáv



2-es ábra: Csapadék intenzitásának a belső sáv sebességére gyakorolt hatása

A haladási sebesség visszaesése minden körülmény között a belső(bb) (előző) sávo(ko)n jelentősebb. (Száraz körülmények között a külső és belső sáv között 15-30 km/h-ás átlagos sebességkülönbség mérhető, ami függ a napszaktól, viláosságtól, a pálya vonalvezetésétől és az alkalmazott sebességkorlátozásoktól is.)

Tehergépjárművek közlekedésére nincsenek hatással a megjelenített jelzések és a csapadéktevékenység. Ennek lehetséges okai a teherautók menetdinamikai tulajdonságaira, és a rájuk vonatkozó 70 és 80 km/h-ás maximális sebességre vezethető vissza (autóút 70 km/h, autópálya 80 km/h). Esőzés esetén a személygépjárművek sebessége jellemzően 80-85 km/h-ra esik vissza.

Az 1-es és 2-es ábrán feltüntetett értékek átlagos értékek, melyeket jelentősen befolyásolhat a forgalom nagysága, a pálya vonalvezetése, a látási és tapadási viszonyok hirtelen változása stb. Az értékeket iránymutatást adnak a változás mértékéről, a csapadék intenzitásának függvényében. Azokon a szakaszokon, ahol a forgalom nagysága eléri vagy megközelíti a kapacitásmaximumot (pl. a reggeli csúcsforgalomban a Budapest környéki szakaszok), ott még intenzívebb hatásokra kell számítani.

A sebességcsökkenés elméleti maximális értéke akár egyenlő is lehet a pályán mérhető átlagsebességgel. Ez akkor következhet be, amikor a környezeti viszonyok a közlekedés feltételeit teljesen ellehetetlenítik. A közlekedők egyedi értékelése alapján ez a szint egyénekenként jelentősen eltérhet. A forgalom teljes megállásához rendkívül szélsőséges körülmények szükségesek, azonban a gyakorlati tapasztalatok alapján ilyenkor is inkább egy baleset miatt áll meg a járműfolyam.

Bár a rendelkezésre álló adatok alapján nem, de a tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy a pálya vonalvezetése és a burkolat állapota is nagyban befolyásolja a haladási sebesség változását. Azokon a helyeken, ahol a lehullott csapadék pl. csak a grooving-vágáson³ keresztül tud távozni, ott nagy intenzitás vagy hosszantartó esőzés során a pályán a csapadék felgyűlhet, emiatt jelentősebb a sebességcsökkenés. Ilyen területeken az autópálya üzemeltető statikus veszélyre figyelmeztető vagy sebességkorlátozó táblákat helyez ki; kedvezőtlen időjárási esemény alkalmával a járművezetők a burkolaton felgyülemlt vízre teget is látják.

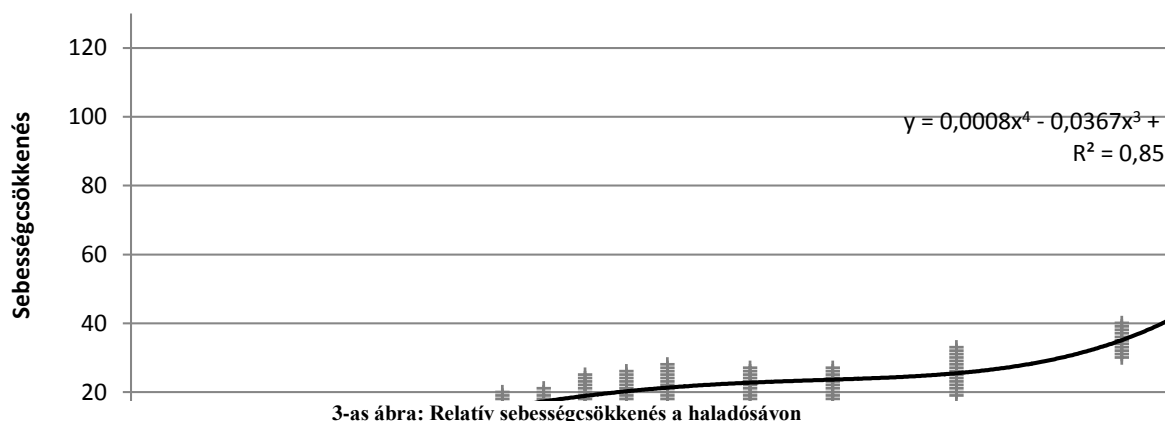
Az időjárással összefüggő balesetek vizsgálatát, a hazai statisztikai adatgyűjtés hiányosságai nem teszik lehetővé. Csupán a vizes burkolaton történt személyi sérüléssel járó balesetek aránya és darabszáma áll rendelkezésre, de ebből nem lehet pontos következtetést levonni arra vonatkozóan, hogy a balesetek időjárási körülmények miatt következtek be, ugyanis azt csak a baleset körülményeinek pontos ismeretében, a rendőrségi jelentések birtokában lehetne meghatározni.

A mért értékekre polinomot illesztve a haladó és előző sávon bekövetkező relatív sebességcsökkenést a 3-as és 4-es ábra szemlélteti, míg az abszolút változást - 20%-os konfidencia intervallumokkal - az 5-ös és 6-os ábra. Az abszolút értékekhez szükséges kezdeti sebességértékek meghatározása átlagolással történt (v_0). A vizsgált keresztmetszetekben a csapadéktmentes időszakban tapasztalható átlagsebességek vizsgálata alapján.

- **előzősáv átlagsebesség:** 125 km/h, szórás 2,5 km/h
- **haladósáv átlagsebesség:** 106 km/h, szórás 3,4 km/h

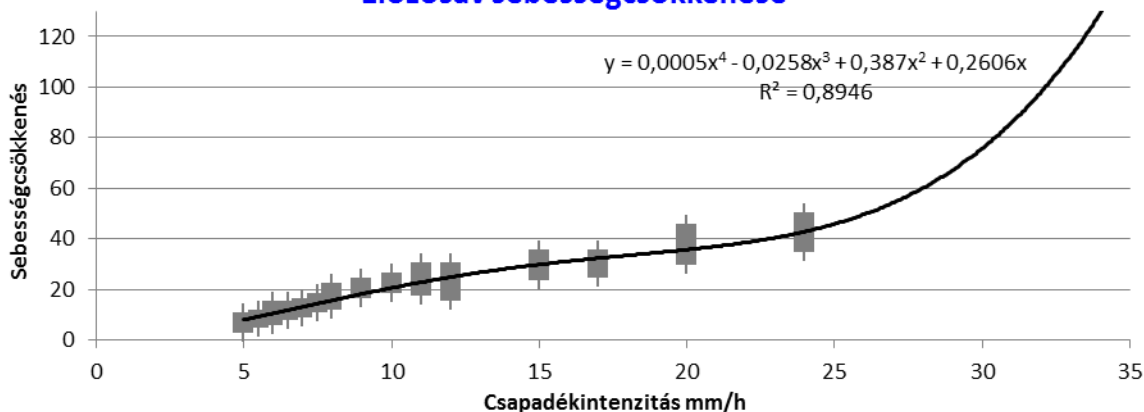
Az illesztett negyedfokú polinom segítségével a 25 mm/h feletti tartományra vonatkozó bizonytalanságot tartalmazó előrejelzés adható, intenzív csapadéktevékenységben bekövetkező sebességcsökkenés várható nagyságára. Az eredmények összhangban vannak a nemzetközi trendekkel, melyek ~30-50 mm/h-ás csapadékintenzitás esetén a forgalom teljes leállását jelzik.

Haladósáv sebességcsökkenése



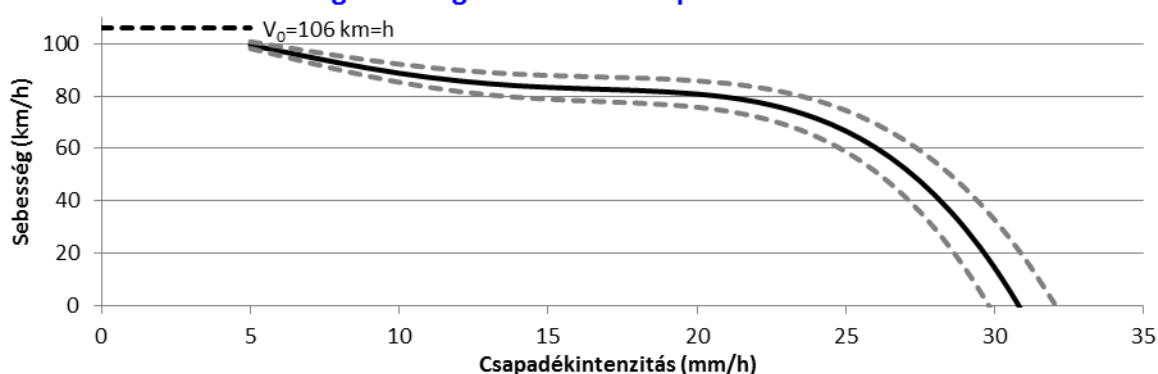
³ rovátkolás: speciális bevágások az útburkolaton, melynek célja a vízelvezetés biztosítása olyan területeken, ahol az útpálya hossz- vagy oldalesése minimális. Az út tengelyével 60°-os szöget bezáró, 8 mm mély hornyok.

Előzősáv sebességcsökkenése



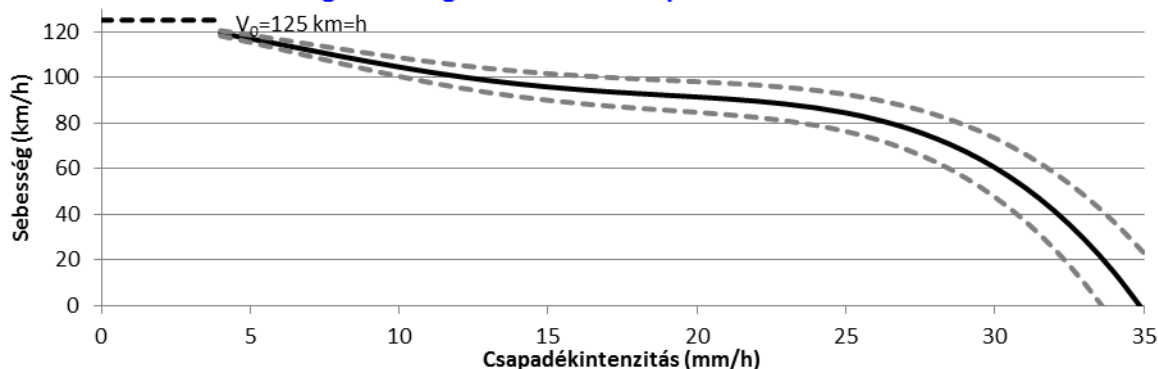
4-es ábra: Relatív sebességcsökkenés az előzősávon

Haladó sáv átlagsebessége különböző csapadékintenzitások esetén



5-ös ábra: Abszolút sebességváltozás különböző csapadékintenzitások esetén, a haladó sávon

Előzősáv átlagsebessége különböző csapadékintenzitások esetén



6-os ábra: Abszolút sebességváltozás különböző csapadékintenzitások esetén, az előzősávon

4.2. Jelzésekép-specifikus megállapítások

Az időjárási esemény (intenzív eső, havazás), már önmagában kivált egy sebességcsökkenést. A jelzésekép segítségével a járművezetők figyelme fokozható, illetve segít a nehezebben észlelhető események (pl. jeges útburkolat, ködfoltos szakaszok, stb.) negatív hatásainak tompításában, továbbá óvatosabb haladásra készíti a vezetőt.

M0-ás autópálya:

A ködfoltos útszakaszra vonatkozó jelzésekép esetén a forgalmi hatás minimális. A haladó sávon csupán 0,5 km/h-ás, az előző sávon 2 km/h-ás sebességcsökkenés figyelhető meg. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a ködfoltos szakasz nem feltétlen a VJT-k és a forgalomszámláló állomások közvetlen közelében található. Azonban a járművezetők a látótávolság csökkenésekor sebességüket is csökkentik.

Megállapítható, hogy a csúszásveszélyre figyelmeztető és a nedves burkolati állapotra vonatkozó üzenetek hatásai azonosak. A 2-es és 3-as táblázat összefoglalja a jelzésekép által kiváltott forgalmi hatásokat sávonként és időjárási eseményként, a két és három sávos szakaszokra vonatkozóan.

 CSÚSZÁSVESZÉLY! SCHLEUDERGEFAHR! SLIPPERY ROAD! 		 NEDVES BURKOLAT CSÖKKENTSE A SEBESSÉGÉT! 	
Esőzés esetén		Havazás esetén	
Haladó sáv	1 és 22 km/h között	Haladó sáv	0 és 6 km/h között
Középső sáv	1 és 23 km/h között	Középső sáv	2 és 6 km/h között
Előző sáv	0 és 27 km/h között	Előző sáv	3 és 10 km/h között

2-es táblázat: Csúszós és nedves útburkolatra figyelmeztető jelzések által kiváltott sebességcsökkenés három forgalmi sávú szakaszon



 CSÚSZÁSVESZÉLY! SCHLEUDERGEFAHR! SLIPPERY ROAD! 		 NEDVES BURKOLAT CSÖKKENTSE A SEBESSÉGÉT! 	
Esőzés esetén		Havazás esetén	
Haladó sáv	1 és 16 km/h között	Haladó sáv	1 és 2 km/h között
Előző sáv	1 és 18 km/h között	Előző sáv	1 és 3 km/h között

3-as táblázat: Csúszós és nedves útburkolatra figyelmeztető jelzések által kiváltott sebességcsökkenés két forgalmi sávú szakaszon



M31-es autópálya:

Ködfoltos útszakaszra és a nedves burkolatra figyelmeztető üzenetknél nem állapítható meg számottevő forgalmi hatás. Ennek több oka: kicsi a minta (csupán 1-1 eseményt volt lehetőség vizsgálni); a vezetők nem a sebességüket mérsékeltek, hanem figyelmüket növelték.

A csúszásveszélyre figyelmeztető jelzések által kiváltott sebességcsökkenést a 4-es, a sószórás / síkosságmentesítés figyelmeztető jelzések által kiváltott sebességcsökkenést az 5-ös táblázat foglalja össze.

 CSÚSZÁSVESZÉLY! SCHLEUDERGEFAHR! SLIPPERY ROAD! 			
Eső és fagyveszély esetén		Havazás esetén	
Haladó sáv	3 és 5 km/h között	Haladó sáv	5 és 33 km/h között
Előző sáv	5 és 6 km/h között	Előző sáv	2 és 39 km/h között

4-es táblázat: Csúszásveszélyre figyelmeztető üzenet által kiváltott sebességcsökkenés

 SÓSZÓRÁS! SALZSTREUUNG! GRITTING ROAD! 			
Eső és fagyveszély esetén		Havazás esetén	
Haladó sáv	~ 5 km/h	Haladó sáv	4 és 22 km/h között
Előző sáv	~ 8 km/h	Előző sáv	10 és 30 km/h között

5-ös táblázat: Sósóráásra figyelmeztető üzenet által kiváltott sebességcsökkenés

A nagyobb sebességcsökkenési értékek nem a jelzéseknek, hanem az időjárás eseménynek is a következménye. A jelzések is rendelkeznek sebesség csökkentő hatással, mely jellemzően maximum 10 km/h. Csapadékmentes, de fagyveszélyes időszakokban a sebességcsökkenés minden esetben 5 km/h alatti volt.

Több olyan időpont is volt a vizsgálat során, ahol nem volt megfigyelhető a haladási sebesség csökkenése. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a jelzések már érvényét veszítette. Ilyen problémák a leggondosabb odafigyelés mellett is előfordulhatnak.

A jelzések által kiváltott sebességcsökkenés alacsonynak tűnhet, nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy ezzel párhuzamosan a járművezető növeli figyelmét, felkészül a lehetséges veszélyekre, így a forgalombiztonság növekszik.

5 Összefoglalás

Annak ellenére, hogy a forgalomleboncolódás és az időjárás közötti kapcsolat kutatása több mint fél évszázados múltra tekint vissza, az időjárásal kapcsolatos figyelmeztető üzenetek forgalomra gyakorolt hatásával a kutatók még nem foglalkoztak. A hazai autópályán végzett vizsgálat ezt a hiányosságot próbálja meg pótolni, mely kimutatta, hogy az időjárás események már önmagukban csökkentik a haladási sebességet. A megjelenített jelzések által kiváltott hatások mérése nem egyszerű. Sok esetben nem lehet egyértelműen meghatározni, hogy a sebességcsökkenés csupán a VJT-nek vagy az esőzésnek/havazásnak köszönhető.

A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a jelzések megjelenítése, már önmagában is 5-10 km/h-val képesek csökkenteni a sebességet. Bár ez a csökkenés alacsonynak tűnik, nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy ezzel párhuzamosan a járművezető növeli figyelmét (pl. távolabb tekint, gyakrabban használja a tükröket, stb.), felkészül a

lehetséges veszélyekre, így a forgalombiztonság is fokozódik. Lényeges kiemelni, hogy a mért értékek átlagosak, melyeket jelentősen befolyásolhat a forgalomnagyság, a pálya vonalvezetése, a látási és tapadási viszonyok hirtelen változása stb. Ennek megfelelően kell kezelni az értékeket, melyek leginkább iránymutatást adnak a változás mértékéről.

A kutatási eredmények fontos információt nyújtanak a nagyméretű dinamikus hálózatokon vizsgált közlekedési folyamatok analizálásánál is. A vizsgálatból származó adatok bevitele a matematikai, ill. szimulációs modellekbe további hasznos eredményeket hoz a hálózatok működésének pontosabb leírásánál is, mivel az esőzések hatása tovaterjedhet azon tartományokra is, ahol közvetlenül nem észlelhető az időjárás ezen befolyása [35].

Hivatkozások

- [1] Hungarian Central Statistical Office: Traffic Accidents 2011. Budapest, 2012. ISSN 0319 2824
- [2] TANNER, J.C. (1952) Effect of Weather on Traffic Flow. *Nature*, 4290 pp 107.
- [3] CODLING, P.J. (1974). Weather and Road Accidents. In: ed. Taylor, J.A. Climatic resources and economic activity: a symposium, pp 205-222, Newton Abbot, UK.
- [4] KEAY, K. and SIMMONDS, I. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis and Prevention*, 37 pp 109-124.
- [5] HOGEMA, J.H. (1996) Effects of rain on daily traffic volume and on driving behaviour. TNOreport TM-96-B019, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg, the Netherlands.
- [6] CHANGNON, S.A. (1996). Effects of summer precipitation on urban transportation. *Climatic Change* 32 pp 481-494.
- [7] CHUNG, E., OHTANI, O. and KUWAHARA, M. (2005a). Effect of rainfall on travel time and travel demand. 5th ITS European Congress, Hannover, Germany.
- [8] CHUNG, E., OHTANI, O., WARITA, H., KUWAHARA, M. and MORITA, H. (2005b). Effect of rain on travel demand and traffic accident. 8th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Vienna, Austria.
- [9] CHUNG, E., OHTANI, O., KUWAHARA, M. and MORITA, H. (2006). Does Weather Affect Highway Capacity? Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service. Vol. 1, p. 139-146. Yokohama, Japan 2006.
- [10] ALHASSAN, H. M., and JOHNNIE, B. E. (2011). Effect of Rainfall Intensity Variability on Highway Capacity. *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X Vol.49 No.1 (2011), pp.18-27, <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
- [11] ALHASSAN, H. M., and JOHNNIE, B. E. (2010). Effect of Rainfall on Microscopic Traffic Flow Parameters. Proceeding of Malaysian Universities Transportation Research Forum and Conferences 2010 (MUTRFC2010), 21 December 2010, Universiti Tenaga Nasional. ISBN 978-967-5770-08-1
- [12] POLVINEN, P. (1985). Accident risks in winter road conditions. Helsinki: Tie- ja vesirakennushallitus, Ins. tsto Pentti Polvinen Ky. (TVH 741822)
- [13] MALMIVUO, M. and PELTOLA, H. (1997). Traffic safety at wintertime - a statistical investigation. Helsinki: Tielaitos. (Tielaitoksen selvityksia 6/1997).
- [14] ELVIK, R., MYSEN, A.B. and VAA, T. (1997). Trafikksikkerhetshandbok (Traffic safety manual). Oslo: Transportøkonomisk Institut.
- [15] ANDREY, J. and YAGAR, S. (1993). A Temporal Analysis of Rain-Related Crash Risk. University of Waterloo, Ontario, Canada; *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 25, No. 4, pp. 465-472.
- [16] SATTERTHWAITTE, S. (1976). An Assessment of Seasonal and Weather Effects on the Frequency of Road Accidents in California. University College London, Traffic Studies Group; *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 8, No. 2, pp. 87-96
- [17] BRODSKY, H. and HAKKERT, A. S. (1988). Risk of a Road Accident in Rainy Weather. University of Maryland at College Park, U.S.A. & Technion, Road Safety Center, Haifa, Israel; *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 20, No. 3, pp. 161-176.
- [18] KHATTAK, A. and KNAPP, K. (2000). Interstate Highway Crash Injuries during Winter Snow and Non-Snow Events, 2001 Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, www.topslab.wisc.edu/resources/publications/knapp_2001_0543.pdf
- [19] ELDESSOUKI, et al (2004). Using Relative Risk Analysis to Improve Connecticut Freeway Traffic Safety under Adverse Weather Conditions. University of Connecticut.
- [20] MAZE and HANS (2006). Crash Analysis to Improve Winter Weather Traffic Safety, Iowa State University, Center for Weather Impacts on Safety and Mobility, presented at the 2007 Transportation Research Board Annual Meeting.

- [21] STEINHOFF, CHRISTIANE, KELLER, HARTMUT, KATES, RONALD, FÄRBER, BRIGITTE & FÄRBER, BERTHOLD (2000). Driver Perceptions and the Effectiveness of Preventative Traffic Management Strategies. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Systems, Turin, Italy, 6–9 November, 2000.
- [22] Priiko RÄMÄ: Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. Dissertation for the degree of Doctor of Science, VTT: Helsinki 2001. (VTT Publications 447/2001) ISBN 951-38-5872-3 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
- [23] KARLBERG, NILS O. (2002). Road, weather, action. Traffic Technology International (2002/Dec 2003/Jan). Surrey, United Kingdom.
- [24] de CRAEN, S. & de NIET, M. (2002). Extra information on Dynamic Message Signs: possibilities and effects. (Extra informatie op matrixborden: mogelijkheden en effecten.) Stichting wetenschappelijk onderzoek verkeersveiligheid SWOV, R-2002-13, p. 37. Netherlands.
- [25] Changing attitudes towards speeding. (2002). Highways, 71(9), pp 25-6. Alad Ltd, Kent, United Kingdom.
- [26] WINNETT, M.A. & WHEELER, A.H. (2002). Vehicle-activated signs – a large scale evaluation. TRL Report TRL 548. TRL Limited. United Kingdom.
- [27] Cooper, B.R. & Sawyer, Helen E. (2005). Assessment of M25 Automatic Fog-Warning System – Final Report. Washington D.C., USA: Federal Highway Administration.
- [28] HOGEMA, J.H. & GOEBEL, M.P. (2000). In-car versus roadside queue warning information: a driving simulator study. TM-00-D004. Soesterberg, the Netherlands: TNO Human Factors TM.
- [29] BOYLE, L.N. & MANNERING, F. (2004). Impact of Traveler Advisory Systems on Driving Speed: Some New Evidence. Transportation Research. Part C: Emerging Technologies, 12(1), pp 57–72.
- [30] TAY Richard, DE BARROS Alex (2010) Effectiveness of Road Safety Messages on Variable Message Signs. Journal Of Transportation Systems Engineering And Information Technology, Volume 10, Issue 3, June 2010 DOI: 10.1016/S1570-6672(09)60040-4
- [31] ÚT 2-1.153 Hungarian Road Technical Specification: Requirements of road traffic variable message signs (2008)
- [32] ÚT 2-1.165 Hungarian Road Technical Specification: Deployment of intelligent traffic control and information systems (2009)
- [33] M-HÜ-8 State Motorway Management Company: Regulation about the Winter Maintenance, Budapest 2012.
- [34] M-FS-3 State Motorway Management Company: Regulation about the Operation of Traffic Control Devices, Budapest 2013.
- [35] BEDE Zs., PÉTER T. : The development of large traffic network model , Periodica Polytechnica, Ser. Transp. Eng. Vol 39, No 1 (2011) pp. 3-5