



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

**Autonóm gépjárművek bevezetésének hatása a hazai
személyi sérüléssel járó balesetek alakulására**

TDK

Gál Linda

2017

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
1.1. Célkitűzések.....	3
1.2. Hipotézisek megfogalmazása	3
2. Kutatás felépítése	4
3. Autonóm járművekhez köthető alapok bemutatása	6
3.1. Az automatizáltság szintjei	6
3.2. Vezetést támogató rendszerek bemutatása.....	8
4. Kutatási módszertan.....	10
4.1. A térinformatikai és statisztikai szoftver ismertetése	10
4.2. Matematikai, statisztikai módszerek ismertetése.....	10
5. Az autonóm járművekhez köthető balesetek (kérdőív eredményei)	13
5.1. A vizsgált balesettípusok.....	13
5.2. A kérdőív felépítése.....	14
5.3. Általános eredmények	16
6. Elemzés	18
6.1. Hipotézisvizsgálat feltételeinek ellenőrzése.....	18
6.2. Megfelelő próba választása	19
7. Egy kritikus csomópont bemutatása.....	21
8. Társadalmi gazdasági hatások elemzése	27
8.1 Javíthatósági lehetőségek bemutatása.....	27
8.2. Az autonóm járművek hatására alakuló veszteségértékek.....	27
9. Összefoglalás	30
Ábrajegyzék	31
Táblázatjegyzék	32
Forrásjegyzék	33

1. Bevezetés

Napjainkban az autonóm járművek egyre nagyobb teret hódítanak a köztudatban. A legtöbb helyen még csak tesztelés zajlik, de széleskörű elterjedésük valószínűleg elkerülhetetlen. Sokan igyekeznek megbecsülni a bevezetésükhöz köthető változásokat. Vajon növelhető általuk a közlekedésbiztonság? Ha igen, milyen mértékben? Erre igyekszem választ találni ebben a dolgozatban.

1.1. Célkitűzések

A célom az, hogy meghatározzam az autonóm járművek bevezetésének hatására várható-e a közúti közlekedési balesetek térbeli elrendeződésében és a javíthatósági lehetőségekben változás. Szeretnék rávilágítani az autonóm járművek gazdasági hatásaira, kiemelve egy magas baleseti veszteségértékkel rendelkező útszakaszt/csomópontot.

1.2. Hipotézisek megfogalmazása

Feltételeztem, hogy a jelenlegi kialakítás miatt magas közlekedésbiztonsági kockázatot jelentő infrastrukturális elemeken az autonóm járművek bevezetésének hatására a szükséges beruházás nélkül is egyértelmű balesetcsökkentő hatás mutatható ki.

2. Kutatás felépítése

A kutatásom alapját egy Access adatbázis képezte, amely tartalmazza 2011-től 2014-ig történt összes balesetet, illetve az ehhez tartozó Win-Bal és OKA adatokat. Ebből a hatalmas adatbázisból kellett kiválasztanom azt a baleseti mutatót, ami alapján az autonóm járművek balesetcsökkentő hatását kimutathatom.

A különböző vezetést támogató rendszerek tanulmányozása után feltételeztem, hogy az autonóm járművek az egyes balesettípusokat **különböző mértékben** csökkentik. Ezért bevezetésük hatásának vizsgálatát minden egyes típuscsoportra külön végeztem el.

Az adatbázisban a megfelelő lekérdezések futtatásával kiszűrtem a szükséges adatokat, adattáblákat. Ezekben a táblázatokban az országos közúthálózat lehatárolt szakaszai képezték a sorokat (a szakaszfelosztás adott volt, egy szakaszon belül az ÁNF értéke azonos), melyekhez az egyes baleseti típusokhoz tartozó veszteségértékek, fajlagos veszteségértékek és javíthatósági potenciálok is szerepeltek.

Kérdőíves felmérést végeztem a közlekedés és tudományok világában jártas emberek között. Célom az volt, hogy az autonóm járművek (AV) témakörében szakértelemmel rendelkezők megbecsüljék, hogy az egyes balesettípusokat az autonóm járművek milyen mértékben csökkentik. ¹

A válaszadók szakértői szintjét figyelembe véve súlyoztam a kapott eredményeket. Ennek alapján kiszámoltam évenként, halálos és súlyos sérülésre egyaránt az új baleseti veszteségértékeket. Ezeket az adatbázisba átírva, a lekérdezéseket újból lefuttatva adódtak a már AV hatására csökkentett veszteségértékek és javíthatósági potenciálok.

Ezt követően létrehoztam egy olyan táblázatot, amiben az egyes szakaszokhoz tartozóan szerepeltek a közúti alapadatok, az AV bevezetése előtti és utáni veszteség- és JL értékek. Ezeket összegezve, a megfelelő számításokat elvégezve, már

¹ Az általam felhasznált irodalmak mind az autonóm járművek balesetcsökkentő hatását vizsgálták. Az egyik cikk szerint ahhoz, hogy megtudjuk, vajon tényleg szignifikánsan kisebb a hibarátájuk, mint az emberi hibáé, körülbelül 8 milliárd járműkilométer megtétele volna szükséges.

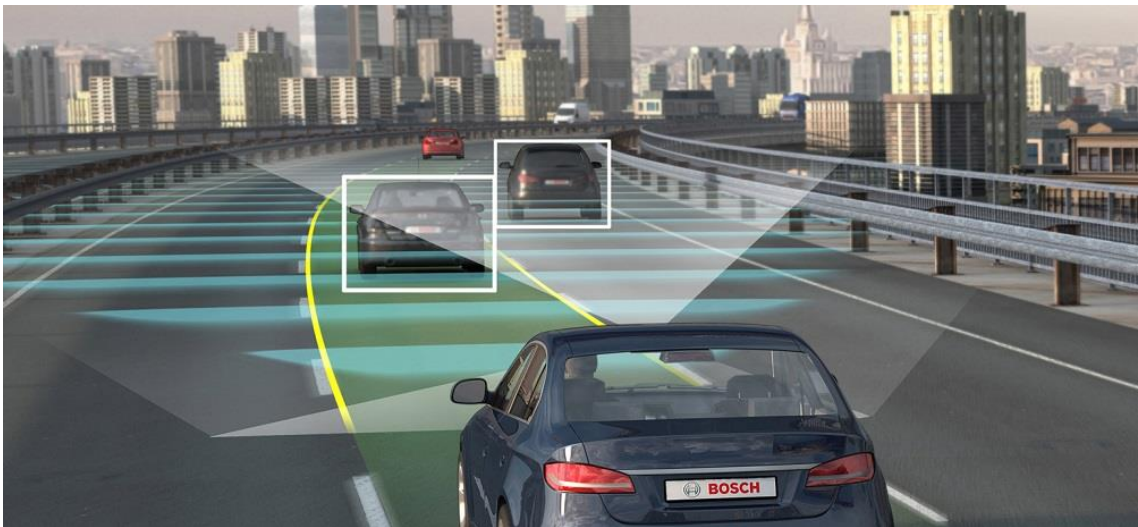
közútkategóriánként szűrve adódtak azok az adatok, amikre a statisztikát és az ábrázolást elvégezni kívántam.

A megfelelő statisztikai próbák kiválasztása után az elemzést egy statisztikai szoftverben végeztem el. Ennek vizsgálata alapján bebizonyosodott, hogy az autonóm járművek bevezetésének hatására a baleseti veszteségértékek valóban csökkennek.

Megvizsgáltam, hogy mely szakaszok bírnak a legnagyobb veszteség- és fajlagos veszteségértékkel. Ezek közül kiválasztottam egy olyan szakaszt, ahol rendkívül sok baleset történt az elmúlt 5 évben. Ahhoz, hogy a közlekedésbiztonságot javítani lehessen, bizonyos beavatkozásokat lehet végrehajtani. Ennek egy módját vizsgáltam: a forgalomtechnikai beavatkozásokat. Szakértő segítségével meghatároztam az ehhez tartozó beruházás értékét. Kiszámoltam, hogy mekkora hasznot jelentene az autonóm járművek alkalmazása a csomóponti beavatkozás helyett. Ezután összegeztem a tanulmány tanulságait.

3. Autonóm járművekhez köthető alapok bemutatása

Az autonóm jármű definíció szerint olyan jármű, amely bármely közlekedési helyzetben képes a járművet vezető személy közreműködése nélkül biztonságosan közlekedni. Az önvezető járművek képesek arra, hogy kiküszöböljék az emberi hibákból (alkoholos befolyásoltság, figyelemvesztés, fáradtság) eredő baleseteket; emellett az önvezető járművek pontosabbak, jobb döntéshozók és jobb végrehajtók (gyorsabb és precízebb kormányzás, fékezés). [1]



1. ábra: Autonóm járművek közlekedése (forrás: [2])

3.1. Az automatizáltság szintjei

Autonómnak tekintünk minden olyan járművet, amely legalább egy biztonságkritikus irányítási funkcióval rendelkezik (pl. kormányzás, gyorsítás, fékezés) anélkül, hogy az ember beavatkozna. Azok a járművek, amelyek veszélyhelyzetben figyelmeztetnek, de nem avatkoznak bele ténylegesen a vezetési folyamatba, nem tekinthetők autonóm járműveknek. (Pedig az ilyen vészjelzést adó rendszereknek jelentős biztonságnövelő hatásuk van). Az autonóm járművek rendelkezhetnek járműfedélzeti érzékelőkkel, kamerákkal, GPS-sel annak érdekében, hogy információt gyűjtsenek a környezetükről. Ez alapján biztonságkritikus helyzetekben valamely logika mentén döntést hoznak és ennek megfelelően bizonyos szintű irányítást hajtanak végre. Elsődleges irányító funkciók: a kormány, gázpedál (gyorsítás-lassítás), és a fékek

szabályozása. Másodlagos irányító funkciók: fényszórók, indexek, ablaktörlők működtetése.

Az automatizáltságnak 4+1 szintje van, melyek a következők:

0. szint: nem-autonóm: a járművezető teljesen önállóan irányítja a járművet, csak ő felelős az út és környezetének figyeléséért és minden beavatkozásáért. Azok a járművek, melyek rendelkeznek vezetést segítő (kényelmi) rendszerekkel - de nem irányítják sem a kormányt, sem a gázpedált sem a féket - is ebbe a kategóriába sorolhatók. Ide tartoznak a figyelmeztető rendszerek is, úgy mint sávelhagyás detektálás vagy holttér figyelés. A fényszórókat, indexet, ablaktörlőt és vészjelzőt irányító, ún. másodlagos irányító funkciók sem tekinthetők autonómnak.
1. szint: gépjárművezetés támogatása: az automatizáltság ezen szintje magában foglal egy vagy több speciális funkciót. Ha több autonóm funkcióval is rendelkezik, akkor ezek egymástól függetlenül működnek. A járművezetőnek teljes irányítása van, és teljes felelősséggel rendelkezik, de átengedhet korlátozott funkciókat a járműnek (pl. sebességtartó automatika). Ide tartoznak azok a rendszerek, amely vész helyzetben avatkoznak be az irányításba (pl. dinamikus fékrásegítő vész helyzetben). A jármű képes lehet a vezetést segítő és ütközésselkerülő funkciókra egyaránt, de ezzel nem vállalja át a járművezetőtől a felelősséget, nem helyettesíti őt. A jármű átvállalhat elsődleges irányítási funkciókat, úgy mint kormányzás vagy gázpedál szabályzás – de egyszerre mindkettőt nem. Összességében tehát a járművet irányító rendszerek nincsenek összhangban, a járművezető nem engedheti el a kormányt és a gázpedált egyidejűleg. Példák a speciális funkciókra: sebességtartó automatika (tempomat), automata vészfékezés, sávtartás.
2. szint: részben automatizált: Ezen a szinten legalább két elsődleges irányító funkció működik együtt egymással, ezeket a járművezetőtől teljesen átvállalják. A járművezető még mindig felelősséggel tartozik az út és környezetének pásztázásáért, hogyha kell, közbe tudjon avatkozni veszélyhelyzetekben. A rendszer bármikor visszaadhatja a járművezetőnek az irányítást előzetes figyelmeztetés nélkül, és neki készen kell állnia, hogy folytassa a biztonságos

vezetést. Például ilyen összetett funkció lehet a sebességtartó dinamika és a sávtartás együttes alkalmazása. A járművezető elengedheti a kormányt és a gázpedált is egyidejűleg.

3. szint: korlátozott önvezető automatika: A járművezető ezen a szinten teljes irányítást adhat a járműnek a biztonságkritikus folyamatok felett. A járművezetőnek készen kell állnia arra, hogy időszakosan irányítsa a járművet, de előtte kap időt, hogy erre felkészüljön. Egy ilyen kategóriába tartozó önvezető autó képes arra, hogy meghatározza, mikortól nem képes ellátni az irányítást (pl. egy közeledő építési terület esetén), és jelzi a járművezetőt, hogy vegye vissza az irányítást a jármű felett. A vezetőnek nem szükséges állandóan az utat figyelnie.
4. szint: teljesen önvezető automatika: A jármű irányítja az összes biztonságkritikus vezetési folyamatot és figyeli az utat az egész utazás alatt. A járművezetőnek (ennek tekinthető az a személy, aki az automatikát elindítja, még akkor is, ha nincs jelen a járműben) kell informálnia a járművet az úticélról, de nem kell készen állnia arra, hogy átvegye a járműtől az irányítást. [3]

3.2. Vezetést támogató rendszerek bemutatása

A továbbiakban ismertetném a vezetést támogató rendszereket. Ezek a rendszerek kétféle típusba tartozhatnak: autonóm vagy nem autonóm funkciók. Összegyűjtöttem a jelenleg létező nem autonóm rendszereket, amelyek a következők. [2]

- sávelhagyás detektálás (lane departure warning): egy kamera észleli a sávban lévő felfestéseket, és figyeli a jármű helyzetét a sávon belül. Ha a rendszer érzékeli, hogy a járművezető akaratlanul elhagyja a sávját, képi és hanghatásokat küld (a kormány rezgetése). Ezek a jelzések figyelmeztetik a járművezetőt a kisodródás veszélyére, és lehetővé teszik, hogy a vezető ellen kormányozzon. Ez a rendszer nem aktív, ha az irányjelző működik. Nem autonóm, mivel csak figyelmeztető rendszer, nem avatkozik bele ténylegesen az irányításba.
- sávváltást segítő rendszer: a jármű hátuljára két érzékelőt szerelnek fel, ami figyeli a jármű körüli területet. Ha a sávváltást segítő rendszer érzékeli, hogy a

járművezető holtterében jármű van vagy rohamosan közeledik, képi jelzést ad számára. Ez lehet például egy villogó jel az oldaltükörben. Ha az irányjelző aktív, a rendszer hangjelzéssel figyelmezteti a vezetőt a potenciális veszélyekre. (nem autonóm)

- tolatást segítő rendszer: a jármű hátsó részén lévő 2 szenzor érzékeli, ha a jármű mögött keresztirányban járművek közlekednek. Ez a két szenzor méri és számolja a távolságukat és a sebességüket. Ha ilyen járműveket észlel a rendszer, képi és hangjelzést ad le a járművezetőnek az ütközés elkerülése érdekében. Ezzel a funkcióval könnyebbé válik például egy parkolóhely elhagyása.
- éberségfigyelő

Az alábbiak pedig az autonómnak minősülő rendszerek, melyek a teljesen önvezető járművekben is megtalálhatóak.

- vészfékező rendszer (predictive emergency braking system): olyan vezetést támogató rendszer, ami csökkenti a ráfutásos balesetek elfordulásának valószínűségét és enyhíti a sérüléseket. Először figyelmezteti a járművezetőt, ha balesetveszélyes helyzet áll fenn. Amint a járművezető rálép a fékre, a fékrásegítő működésbe lép. Ha a vezető nem reagál, a rendszer működésbe lép, és teljesen lefékez.
- gyalogos védelem (predictive pedestrian protection): ez a rendszer felismeri, ha gyalogos tartózkodik abban a sávban, amelyben a jármű halad. Észleli a veszélyesen felé közeledő gyalogosokat is. Ezután figyelmezteti a járművezetőt, és szükség esetén aktiválja a vészféket.
- sávtartást segítő rendszer: ez egy olyan kamerával felszerelt rendszer, ami észleli a sávban lévő felfestéseket és azt, ha a jármű a sáv szélére kerül. Ebben az esetben beavatkozik a kormányzásba.
- építési terület asszisztens (construction zone assist): ez a rendszer a sávtartást segítő rendszer továbbfejlesztése. Egy sztereó kamerából áll, 100 km/h sebességig aktív. Segíti a járművezetőt a megfelelő oldaltávolság megtartására járművektől, betonelemektől, korlátoktól, stb. Figyelmezteti a járművezetőt ha túl szűk a hely, egyes esetekben a vészféket is aktiválhatja. [2]

4. Kutatási módszertan

Mielőtt elkezdtem foglalkozni ezzel a témakörrel, szükséges volt felmérni, hogy az eredményeket milyen szoftverek/módszerek segítségével tudom értékelni. Az alapadatok egy Access adatbázisból származnak. Ez az adatbázis tartalmazza 2011-14-ig a baleseti adatokat, és hozzárendelhetőek mindehhez az Országos Közúti Adatbank által szolgáltatott közúti jellemzők, úgy mint: közútkategória, közút száma, az egyes szakaszok hossza, ÁNF, tehergépjármű arány, stb. A megfelelő lekérdezéseket elvégezve baleseti típuscsoportonként - autonóm járművekkal és nélkülük – különböző táblázatokat készítettem, melyeket utána egy nagy táblázatban összesítettem.

4.1. A térinformatikai és statisztikai szoftver ismertetése

Az általam számolt adatokat az ArcGIS térinformatikai szoftverben elemeztem, mely alapvetően vektor-térképek kezelésére készült. Táblázatokkal és térképekkel dolgozik, többféle adatformátum beolvasására képes. Saját fájlformátuma az ún. shape file. A betöltött térképet layer-ként kezeli, ami az információk szemléltetésére szolgál. [4]

Az SPSS pedig egy statisztikai program, amelybe adatainkat feltöltve számos lehetőség áll rendelkezésünkre. A szoftver képes az adatok statisztikai elemzésére és azok grafikai megjelenítésére. Többféle teszt futtatható rajta, ezzel jóval megkönnyítve a hatalmas adatmennyiség számítását. [5]

4.2. Matematikai, statisztikai módszerek ismertetése

Az eredmények elemzéséhez ki kellett választanom a megfelelő statisztikai módszereket. Az elméletem az volt, hogy az autonóm járművek bevezetésének hatására a (fajlagos) baleseti veszteségértékek jelentősen csökkennek. Közútkategóriánként két-két mintából dolgoztam. Először meg kellett vizsgálni, hogy az egyes minták normális eloszlást mutatnak-e. Ezt Kolmogorov-Smirnov próbával végeztem el. Ez a próba alkalmas a nem paraméteres (jelen esetben skála típusú) adatsorok, valószínűségi változók vizsgálatára.

Ha a vizsgált mintánk X (melynek eloszlása ismeretlen), de feltételezzük, hogy normális eloszlású (F_0), akkor a nullhipotézisünk:

$$H_0 = F_x(x) = F_0(x)$$

Ha a nullhipotézisünk elutasításra kerülne, abban az esetben az alternatív hipotézis lép érvénybe, amely:

$$H_1: F_x(x) \neq F_0(x)$$

A próba az F_n tapasztalati eloszlást hasonlítja össze az F_0 normál eloszlással a

$$d_n = |F_n - F_0| = \sup |F_n(x) - F_0(x)|$$

tesztstatisztika segítségével, ahol \sup a szuprémumot jelöli. A megfigyeléseinkből kiszámíthatjuk a relatív gyakoriságokat ($S(x_i)$). Az így kapott tapasztalati eloszlást hasonlítjuk össze a feltételezett eloszlással, ami az egyes értékekre az $F_0(x_i)$ értékeket adja. Ha X a feltételezett eloszlásból származik, akkor a két függvény értékeinek egymás közelében kell lenniük. Tehát kiszámítjuk a $d_{oi} = |S(x_i) - F_0(x_i)|$ és $d_{ui} = |S(x_{i-1}) - F_0(x_i)|$ abszolút különbséget minden elemre. Kiválasztjuk a d_{\max} maximumot a két sorozat uniójából. Ha ez nagyobb, mint egy előre meghatározott d_α , akkor a nullhipotézist az α szinten elvetjük. [6]

A számításokat az SPSS statisztikai program segítségével végeztem, mely segítségével az empirikus szignifikancia szint, más néven p érték a számítások végén lévő táblázatból kiolvasható. P érték annak a valószínűsége, hogy a próbastatisztika a mintából kiszámított értéket veszi fel. Minél kisebb a p érték, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a H_0 hipotézis hamis. Általános megegyezés alapján 0,05 felett elfogadjuk, 0,05 alatt elvetjük a nullhipotézist. Tehát ha a Kolmogorov-Smirnov próba esetén $p > 0,05$, a vizsgált valószínűségi változó normál eloszlásúnak tekinthető.

Az összefüggő mintás T-próba lett volna a következő lépés, amit arra használtunk volna, hogy megállapítsuk, az autonóm járművek bevezetése a balesetekre szignifikáns hatást fejt-e ki. Ennek a próbának három feltétele, hogy a valószínűségi változók: normál eloszlásúak, skála típusúak és függetlenek. Azonban később látni fogjuk, hogy a vizsgált mintáink a Kolmogorov-Smirnov teszt alapján nem normál eloszlásúak, így másik próbát kellett választanom a további elemzéshez.

A Wilcoxon-féle előjeles rang próba alkalmas még két minta változóinak páronkénti összehasonlítására. Kis elemszámú mintáknál is alkalmazható, nem követeli meg az összefüggő mintás T-próba feltételeit. A próba nullhipotézise és alternatív hipotézise:

$$H_0: \text{med}(X-Y) = 0$$

$$H_1: \text{med}(X-Y) \neq 0,$$

ahol X és Y a két mintánk. Ha a két összetartozó minta különbségének mediánja nulla, ez azt is jelenti, hogy a két összetartozó minta ugyanabból az eloszlásból származik, vagyis lényegesen nem különböznek. Vesszük a párosított minta különbségét:

$$\delta_i = X_i - Y_i$$

Ezután rangszámkonverziót végzünk a különbség abszolút értékére. Ezt követően történik a Z érték meghatározása. A két minta közti kapcsolatot a $\frac{|Z|}{\sqrt{N}}$ hányados (hatásnagyság) reprezentálja a következők szerint:

1. táblázat: A minták közötti hatásnagyság (forrás: [6])

$\frac{ Z }{\sqrt{N}} \leq 0,2$	$0,2 < \frac{ Z }{\sqrt{N}} \leq 0,5$	$0,5 < \frac{ Z }{\sqrt{N}} \leq 0,8$	$0,8 < \frac{ Z }{\sqrt{N}}$
a két minta közti változás gyenge	a két minta közti változás közepes	a két minta közti változás erős	a két minta közti változás nagyon erős

5. Az autonóm járművekhez köthető balesetek (kérdőív eredményei)

Ahhoz, hogy megbecsülhessem, hogy az autonóm járművek bevezetésével az egyes balesettípusok gyakoriságai mennyivel csökkenek, szakértők segítségét kértük. Az angolul és magyarul is elkészített kérdőívet 300, a közlekedés és tudomány világában jártas ember címére küldtük ki. Ahhoz, hogy ennek eredményeit ténylegesen elemezni tudjam, legalább 14 teljes értékű kitöltésre volt szükségem (későbbi statisztikai elemzésünk minimális egyedszáma).

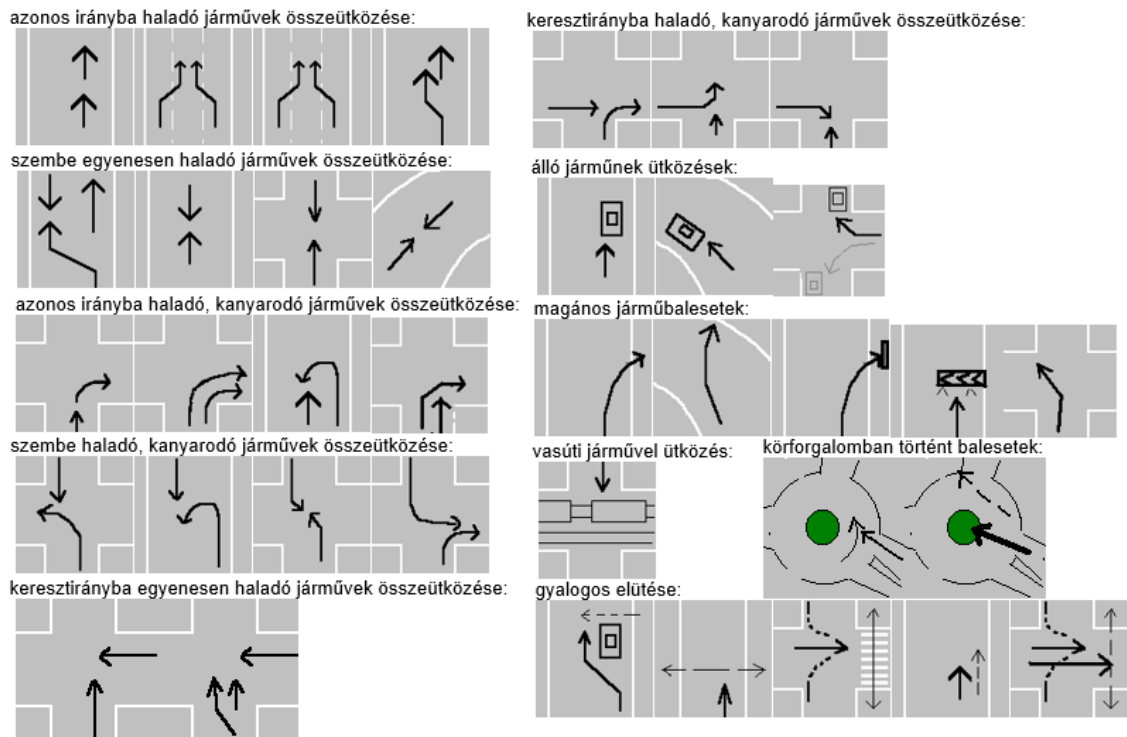
5.1. A vizsgált balesettípusok

A Win-Bal baleseti adatbázisban tárolt baleseti kategóriák közül választottam. Úgy gondoltam, hogy a balesetek típuscsoportja kategória megfelelően reprezentálja azt, amit vizsgálni szeretnék. A Win-Bal értékkészletét használtam a típusok jelöléséhez. [7]

- 100: azonos irányba haladó járművek összeütközése
- 200: szembe egyenesen haladó járművek összeütközése
- 300: azonos irányba haladó, kanyarodó járművek összeütközése
- 400: szembe haladó, kanyarodó járművek összeütközése
- 500: keresztirányba egyenesen haladó járművek összeütközése
- 600: keresztirányba haladó, kanyarodó járművek összeütközése
- 700: álló járműnek ütközés
- 905: magános járműbalesetek
- 990: vasúti járművel ütközés
- 999: egyéb balesetek
- 1000: gyalogos elütése
- 2000: körforgalomban történt balesetek

Az elemzésben az „egyéb balesetek” típuscsoportot nem vizsgáltam tovább, mert ez nem egy egzakt kategória, hanem ide minden más baleset beletartozik, amit a többibe nem lehetett besorolni. Az egyes típuscsoportokba tartozó balesetekről képeket tettem

be a kérdőív elejére a könnyebb értelmezhetőség kedvéért és ezáltal a pontosabb eredményekért.



2. ábra: Az egyes baleseti típuscsoportok (forrás: [7])

5.2. A kérdőív felépítése

A bevezetőben ismertettem az egyes vezetést támogató rendszereket, mivel a teljesen autonóm járművek is ezeket a rendszereket tartalmazzák. Az első kérdés arra vonatkozott, hogy a kitöltő mennyire szakértő az autonóm járművek témakörében. Ezt egy 1-től 5-ig terjedő skálán kellett bejelölnie. Az eredmények elemzésénél csak a 3-ast, 4-ets, és 5-öst megjelölő kitöltésekkel foglalkoztam. Ezután beillesztettem a 2. ábrát, és következtek a lényegi kérdések. Négy kérdés vonatkozott arra, hogy az egyes autonóm funkciók mennyivel csökkentik az adott balesettípusokat. Ebben a dolgozatban most a kérdőív azon válaszai érdekesek, amelyek a teljesen autonóm járművek balesetcsökkentő hatására vonatkoztak. A kérdés maga egy mátrix volt, ahol soronként a balesettípusok, oszloponként a csökkentő hatás mértéke szerepelt, amit egy 1-től 7-ig terjedő skálán kellett megbecsülni. Soronként egy válasz adása volt kötelező.

Ön szerint mely típusú balesetek előzhetőek meg teljesen autonóm járművel ^{*} és milyen mértékben? (1 - kevésbé csökkenti, 7 - nagy mértékben csökkenti)

	1	2	3	4	5	6	7
azonos irányba haladó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
szembe egyenesen haladó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
azonos irányba haladó, kanyarodó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
szembe haladó, kanyarodó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
keresztirányba egyenesen haladó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
keresztirányba haladó, kanyarodó járművek összeütközése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
álló járműnek ütközés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
magános járműbalesetek	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
vasúti járművel ütközés	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
gyalogos elütése	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
körforgalomban történt balesetek	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

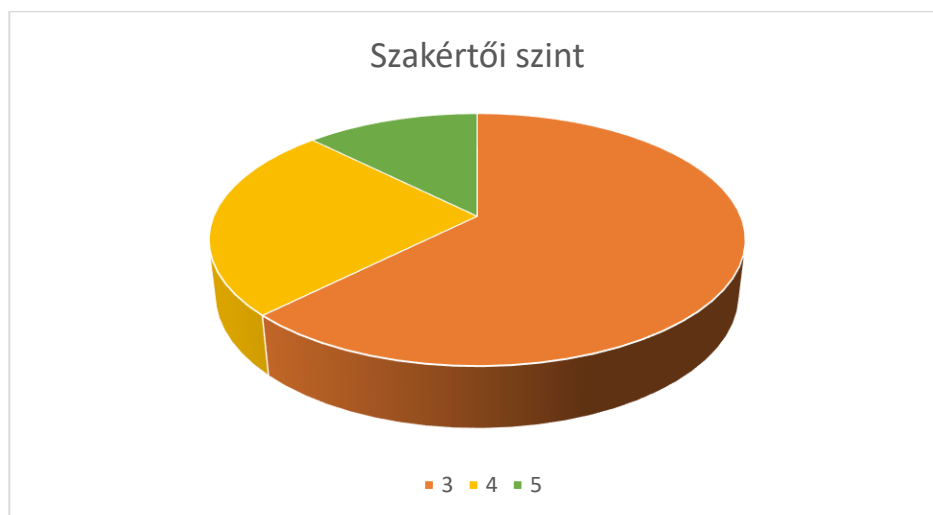
3. ábra: A kérdőívben feltett kérdés egyike (forrás: saját szerkesztés)

Az 1-es érték kiválasztása esetén a kitöltő úgy gondolta, hogy az adott balesettípust nagyon nehéz lenne az autonóm járművek bevezetésével csökkenteni. 7-es érték esetén pedig úgy gondolta, hogy teljesen lecsökken ezeknek a baleseteknek a száma.

Az utolsó kérdés a kérdőívben arra vonatkozott, hogy a kitöltő szerint a balesetek hány százaléka vezethető vissza emberi hibára. Ez a veszteségértékek újraszámításához lesz szükséges.

5.3. Általános eredmények

Az adott határidőig 23 db kitöltés érkezett. Mivel ilyen kis elemszámú mintából dolgoztam, ezért egyesével választottam ki azokat az eredményeket, amik elérték a kellő szakértői szintet. Ezután 16 db teljes értékű adatsor állt rendelkezésemre.



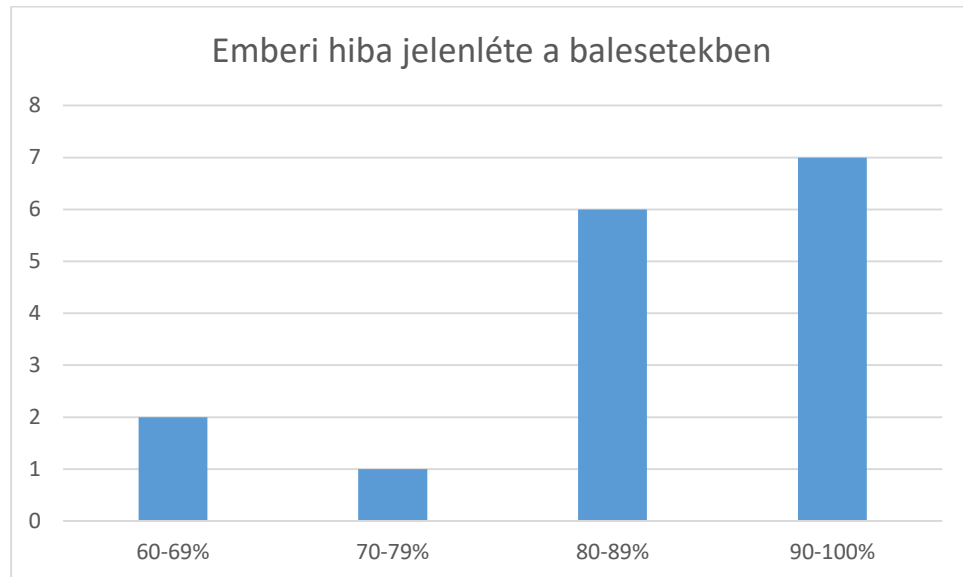
4. ábra: Szakértői szintek (forrás: saját szerkesztés)

2. táblázat: A kitöltők válaszai (forrás: saját szerkesztés)

Sorszám	Szakértői szint	A baleset típuscsoportja											Emberi hiba	
		100	200	300	400	500	600	700	905	990	1000	2000		
1	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	99
2	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	85
3	5	5	6	5	5	5	5	4	6	6	3	5	5	85
4	3	7	7	7	7	7	7	7	5	5	4	7	7	100
5	3	5	6	5	4	5	5	6	6	5	5	5	5	70
6	3	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	6	5	65
7	3	4	6	5	6	6	5	5	5	5	6	3	90	90
8	4	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	90	90
9	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	92
10	4	6	6	6	4	4	4	6	6	6	5	6	95	95
11	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	90
12	4	5	7	5	7	6	6	7	7	7	7	6	80	80
13	3	6	6	5	5	5	6	7	7	6	6	6	80	80
14	4	7	3	5	2	2	2	3	4	2	6	4	66	66
15	3	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	80	80
16	3	7	6	6	6	6	6	7	7	7	6	6	80	80

A 2. táblázat szemlélteti az eredményeket, melyeket Microsoft Excelben dolgoztam fel. Az egyes skálaértékeket súlyoztam a kitöltők szakértői szintjével, így megkaptam a típusonkénti súlyozott átlagot. Az egyes balesettípusokhoz tartozó csökkenés mértékét átszámítottam százalékra. A 7-es érték volt a 100%-os balesetmegelőzés. Ezután kiszámoltam az emberi hibára visszavezethető balesetek százalékainak átlagát.

A számítások alapján a szakértői becsléseket figyelembe véve az autonóm járművek bevezetésével a balesetek legalább 78%-kal csökkenthetőek lennének, de maximum 86%-ban. Az összes baleset 84,5 százaléka pedig emberi hibára vezethető vissza a becslés szerint.



5. ábra: Az emberi hiba, mint balesetek okozója a kitöltők szerint *(forrás: saját szerkesztés)*

6. Elemzés

Ebben a fejezetben ellenőriztem a kérdőív által számított fajlagos veszteségértékek megbízhatóságát. Először az adatok normális eloszlását vizsgáltam, utána a két adatsor (autonóm járművek nélkül és bevezetésükkel) összehasonlítását végeztem el.

6.1. Hipotézisvizsgálat feltételeinek ellenőrzése

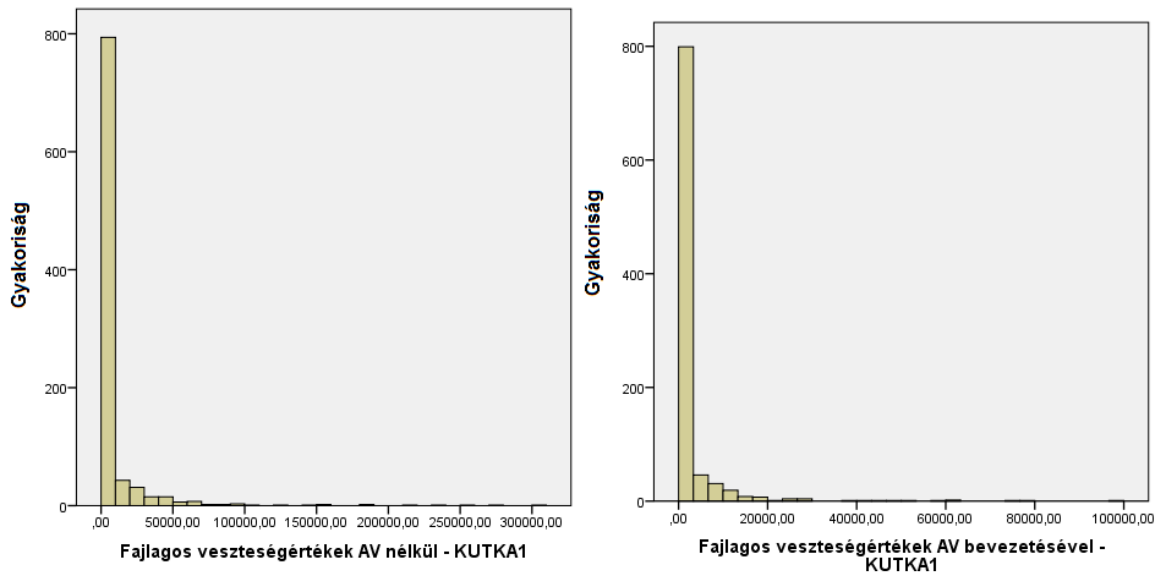
Az összefüggő mintás T-próba előtt szükséges ellenőrizni, hogy a két mintánk normál eloszlást követ-e. Ezt a korábban említett Kolmogorov-Smirnov próbával ellenőriztem. Közútkategóriánként a fajlagos veszteségértékekre (Ft/m) végeztem el a próbát. Az eredményeket a következő táblázat szemlélteti:

3. táblázat: A Kolmogorov-Smirnov próba eredményei *(forrás: saját szerkesztés)*

Közútkategória	Vizsgált minta	Kolmogorov-Smirnov próba	
		Elemzés	Szignifikancia szint
Autópálya	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül	930	p <0,05
	Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével		
Autóút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül	250	p <0,05
	Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével		
Elsőrendű főút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül	1992	p <0,05
	Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével		
Másodrendű főút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül	3679	p <0,05
	Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével		

Mivel a p empirikus szignifikancia szint kisebb, mint 0,05 az összes vizsgált esetben, így megállapítható, hogy a mintáink nem követik a normál eloszlást. Így nem végezhetjük el az összefüggő mintás T-próbát, mert sérülne a próba egyik feltétele és nem kapnánk megfelelő eredményt.

Az SPSS programban a megfelelő beállítások után megjeleníthető az egyes minták sűrűség-hisztogramja.



6. ábra: Hisztogramok *(forrás: SPSS)*

Az 6. ábrából is látszik, hogy ezekre a hisztogramokra illesztett görbék nem hasonlítanak a normál eloszlás görbéire. A legszembeűnőbb a diagramokon a zérus értékek nagy száma. Ez abból is adódik, hogy nem egyforma hosszúságú szakaszokra osztottuk az országos közúthálózatot. Ezeket az értékeket kiküszöbölni nem lehet: ezzel elsőfajú hibát vinnénk a rendszerbe. Más megoldást kellett keresnem.

6.2. Megfelelő próba választása

A Wilcoxon-féle előjeles rang próba ideális választásnak bizonyult. Ez a próba nem követeli meg a T próba feltételeit, viszont alkalmas a két minta közti hatásnagyság feltárására. Az elemzés eredményeit a következő táblázat foglalja össze:

4. táblázat: A Wilcoxon-féle előjeles rang próba eredményei

(forrás: saját szerkesztés)

Közútkategória	Páros összehasonlítása	Wilcoxon-féle előjeles rang próba			
		N	Z érték	P érték (kétoldali)	Hatásnagyság
Autópálya	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül - Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével	930	-13,486	p<0,05	0,442
Autóút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül - Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével	250	-6,093	p<0,05	0,385
Elsőrendű főút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül - Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével	1992	-21,08	p<0,05	0,472
Másodrendű főút	Fajlagos veszteségértékek AV nélkül - Fajlagos veszteségértékek AV bevezetésével	3679	-28,782	p<0,05	0,475

Esetünkben tehát egyértelműen kimutatható, hogy a vizsgált minta alapján (a 2011-2014 közötti 3 év baleseti adatai) 5%-nál kisebb annak az esélye, hogy az autonóm járművek bevezetésének hatása csupán a véletlen műve. Mivel a hatásnagyság értéke mindegyik esetben 0,3 és 0,5 között van, ezért elmondható, hogy a két minta közötti változás **közepes** erősségű.

7. Egy kritikus csomópont bemutatása

Egy kiválasztott szakaszon keresztül szeretném megmutatni, hogy milyen előnyei lennének az autonóm járműveknek. Dolgozatomban a 4 fő útkategóriát vizsgáltam: autópálya, autóút, elsőrendű és másodrendű főút. Az autópályák és autóutak véleményem szerint kellő szakértelemmel és körültekintéssel lettek megtervezve, pont azért, mert ezek a legforgalmasabbak és ezeken jóval nagyobb a megengedett sebesség. Olyan szigorú közlekedésbiztonsági felülvizsgálatokon és auditokon mentek át, melyek miatt nehéz lenne baleseti gócpontot találni; feltételezhetően mindenhol megfelelő a kialakításuk.

Így hát a másodrendű főúthálózat elemei közül válogattam inkább. Választásom egy ceglédi csomópontra esett, mely a 40-es és 311-es, illetve önkormányzati út csatlakozásánál található. Ez a csomópont a fajlagos baleseti veszteségértékeket tekintve a másodrendű úthálózati szakaszok közül a felső 3%-ba, összes veszteségértékét tekintve a felső 4%-ba tartozik, ezért úgy gondoltam, érdemes lenne vizsgálatra.

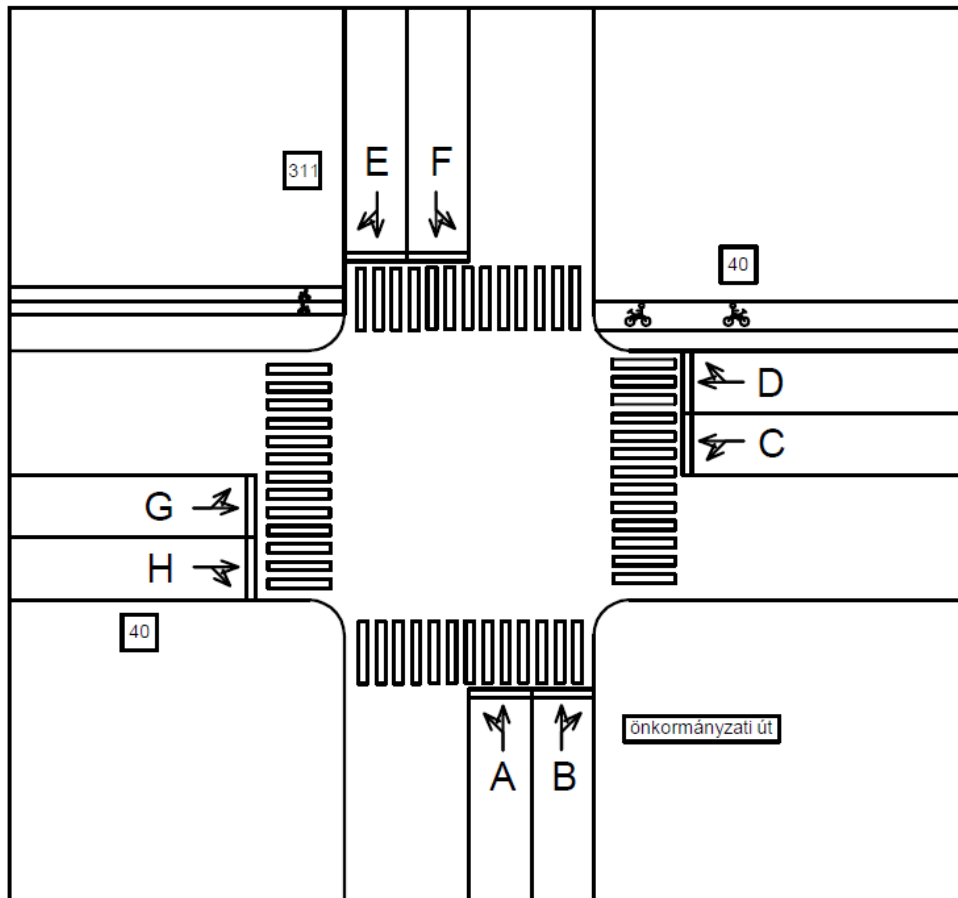
Először is lekértem a Web-Bal baleseti adatbázisból a szakaszra jellemző baleseti adatokat az elmúlt 5 évről.

5. táblázat: Cegléden történt balesetek adatai (forrás: Web-Bal)

Baleset ideje	Város	Közút sz.	Szelvény	Baleset fajta	Kimenetel
2012.04.29	Cegléd	40	20+148	segédmotorkerékpáros baleset	súlyos sérüléses
2013.09.04	Cegléd	40	20+160	kerékpáros baleset	súlyos sérüléses
2013.07.02	Cegléd	40	20+161	kerékpáros baleset	könnyű sérüléses
2015.11.28	Cegléd	40	20+163	keresztelő gépjárművek balesete	könnyű sérüléses
2012.04.30	Cegléd	40	20+165	szembe haladó gépjárművek balesete	súlyos sérüléses
2013.11.20	Cegléd	40	20+166	kerékpáros baleset	könnyű sérüléses
2015.09.26	Cegléd	40	20+166	keresztelő gépjárművek balesete	súlyos sérüléses
2016.11.07	Cegléd	40	20+167	kerékpáros baleset	könnyű sérüléses
2012.07.04	Cegléd	40	20+169	kerékpáros baleset	könnyű sérüléses
2016.07.19	Cegléd	40	20+170	segédmotorkerékpáros baleset	súlyos sérüléses

Látható, hogy rendkívül sok baleset történt ebben a csomópontban, átlagosan 2 baleset/év. A balesetek nagy része kerékpáros baleset. Helyszíni szemlét végeztem

ebben a bizonyos csomópontban, hogy rájöjjenek a balesetek okára. A forgalmat jelzőlámpa irányítja. Az alábbi egyszerűsített ábra szemlélteti a csomópont kialakítását.



7. ábra: A ceglédi csomópont helyszínrajza (forrás: saját szerkesztés)

A kereszteződésben mindössze 2 fázisban működnek a jelzőlámpák: a 40-es út 4 forgalmi sávjának (C, D, G, H), és az azokkal párhuzamos gyalogátkelőhelyeknek az egyik, a 311-es és önkormányzati út 4 forgalmi sávjának (A, B, E, F) és az azokkal párhuzamos gyalogátkelőhelyeknek pedig a másik fázisban van szabad jelzése.

Ott jártamkor a kerékpáros forgalom számottevő volt. A csomópontban több probléma is van. A 40-es utat egyoldali, kétirányú kerékpárút kíséri. A 311-es úton való átvezetése (E, F előtti zebra) azonban nem megoldott; hiába van kerékpáros jelzőlámpa, a gyalogátkelőhelyre ez nincs felfestve.



8. ábra: Kerékpáros átvezetés felfestés nélküli gyalogátkelőhely (forrás: saját fénykép)



9. ábra: Kerékpáros átvezetés felfestés nélküli gyalogátkelőhely (forrás: saját fénykép)

A 40-es út C, D sávja előtt lévő gyalogátkelőhelyen sokan kerékpároznak át annak ellenére, hogy nincs kerékpáros átvezetés, sem kerékpárút. Mindez elég balesetveszélyes, ugyanis az úttesten hirtelen megjelenő kerékpárosokra nehéz számítani.



10. ábra: Hirtelen megjelenő kerékpáros ott, ahol nincs kerékpárút (forrás: saját fénykép)



11. ábra: Hirtelen megjelenő kerékpáros ott, ahol nincs kerékpárút (forrás: saját fénykép)

Mivel az általam kiválasztott szakaszra (20+164 – 21+398) 11 csomópont is esik, ezért értelemszerűen nem csak az általam választott csomópont baleseti veszteségértéke jön számításba. Azonban a szakaszon történt 36 balesetből 10 ebben a csomópontban történt, ami azt jelenti, hogy a balesetek mintegy 28%-a itt történt. Ez elég jelentős ahhoz, hogy ezzel a csomóponttal foglalkozzak.

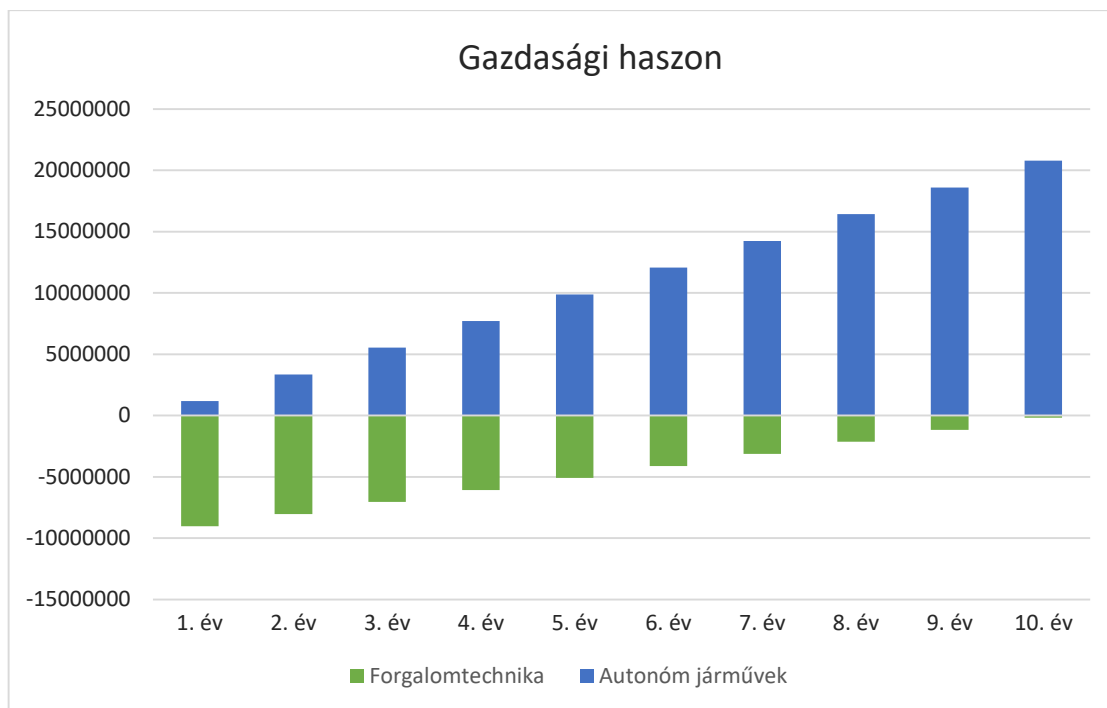
Egy olyan szakértő segítségét kértem, aki szintén járt az említett helyszínen. Ő megbecsülte, hogy milyen költségekkel kéne számolni, ha a csomópontot átalakítanák. Az első eset a forgalomtechnika átalakítása volt, mint lehetőség. Ez hozzávetőlegesen 10 millió Forintba kerülne.

A 2011-2014-ig terjedő időszakban az erre a szakaszra jutó fajlagos baleseti veszteségérték 109216 Ft/m volt. A kérdőív eredményei alapján az autonóm járművek bevezetésével ez az érték 36596 Forint/m-re lenne csökkenthető. Ez mintegy harmada lenne az eredetinek. A csomópont szélessége nagyjából 30 méterre tehető, így az erre a csomópontra jutó baleseti veszteségérték 3276480 Ft/év.

Új beruházás esetén annak balesetekre gyakorolt hatását az ún. crash modification factorral (CMF) szokták előre becsülni. Esetünkben jelzőlámpás csomópontnál ennek a CMF-nek az értéke 0,7, ami azt jelenti, ha eddig évi 10 baleset történt, utána már csak 7 baleset lesz évente. [8]

Tehát 10 millió Forintos forgalomtechnikai beavatkozás esetén 10 év alatt $3276480 * 10 * (1 - 0,7) = 9829440 \text{ Ft}$ baleseti veszteségérték térülne meg. Az összes haszon ebből a beruházás költsége és a megtérülés különbsége, $10 \text{ millió} - 9829440 = -170560 \text{ Ft}$. Ez azt jelenti, hogy 10 évnél több idő alatt – egészen pontosan 10 év és két hónap alatt – térülne meg a beruházás.

Azonban az autonóm járművek bevezetésével az eredeti csomópontban a veszteségérték 1097910 Ft/évre lenne csökkenthető. 1 év alatt az elkerülhető baleseti veszteségérték $3276480 - 1097910 = 2178570 \text{ Ft}$ -ra, 10 év alatt pedig 21785700 Ft-ra adódik. Az autonóm járművek biztonságos közlekedéséhez tökéletes felfestésre van szükség. Ennek értékét maximum 1 millió Forintra becsültem. Így az összes haszon 20785700 Ft.



12. ábra: Az éves gazdasági haszon új forgalomtechnika és autonóm járművek bevezetésének hatására *(forrás: saját szerkesztés)*

Összességében tehát forgalomtechnikai intézkedésekkel (amely főleg egy rendes jelzőlámpaprogramot jelent) 10 év alatt éppen nem térülne meg a beruházás, viszont új forgalomtechnika nélkül, az autonóm járművek bevezetésével már 20,8 millió Ft gazdasági haszon prognosztizálható.

8. Társadalmi gazdasági hatások elemzése

Ahhoz, hogy pontos képet kapjunk az autonóm járművek hatásáról, elemzésemet kiterjesztettem az országos közúthálózatra. Ezután a megjelenítést térinformatikai szoftverben végeztem el.

8.1 Javíthatósági lehetőségek bemutatása

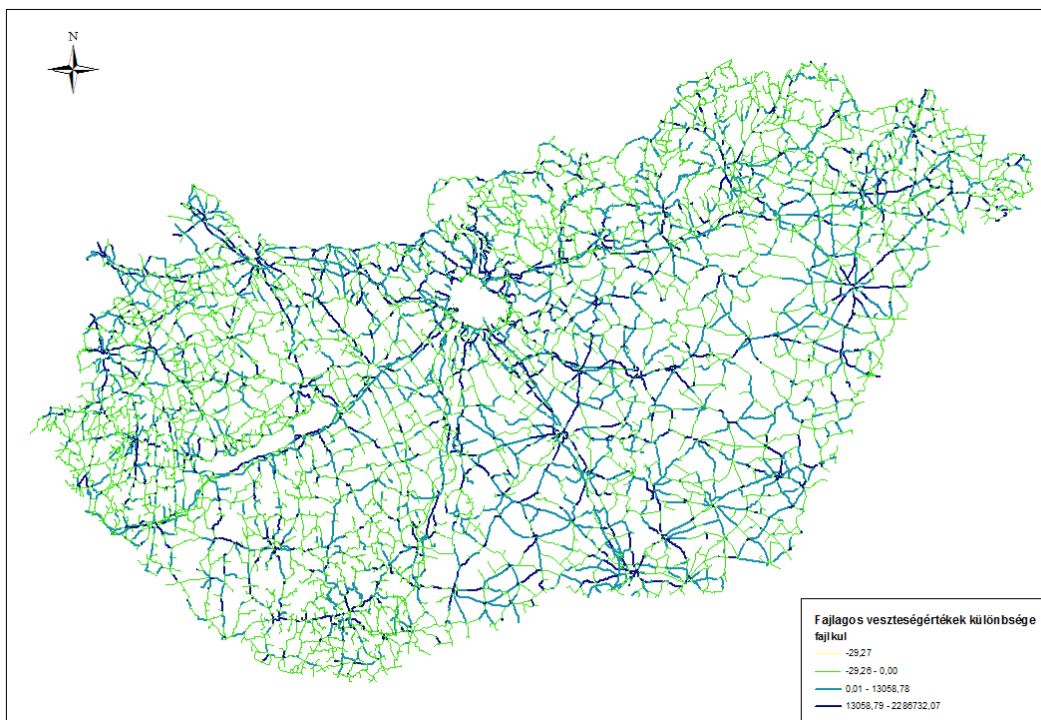
A társadalomra és gazdaságra egyaránt gyakorolt hatás legfőbb mutatószáma a javíthatósági lehetőség/javíthatósági potenciál (a továbbiakban: JL) és annak változása az autonóm járművek bevezetésének hatására. Javíthatósági lehetőség az adott útszakaszon elérhető gazdasági haszon. Ennek az újraszámítása oly módon történt, hogy az érvényes veszteségértékeket (amiből a JL származtatható) módosítottuk a becsült változás arányának megfelelően. Veszteségérték az, ami egy baleset során kár/el nem ért haszon a társadalom számára (pl. súlyos sérülés esetén az ellátási, munkából kiesési költség és még sok tényező). Mindezt évenként és baleseti típuscsoportonként számítva - halálos és súlyos sérüléssel balesetekre külön-külön. Az új értékek képzése a következő képlettel történt:

$$\text{Új veszteségérték} = \text{régi veszteségérték} \times (1 - \text{becsült csökkenés} \cdot \text{emberi hiba átlag})$$

Mivel azt feltételezem, hogy az autonóm járművek az emberi hiba által bekövetkezett baleseteket lennének képesek megelőzni, ezért csak ezeket a baleseteket vettem számításba. Ezt az értéket szoroztam meg a szakértők által becsült csökkenés százalékos értékével, így adódott az új veszteségérték és JL érték.

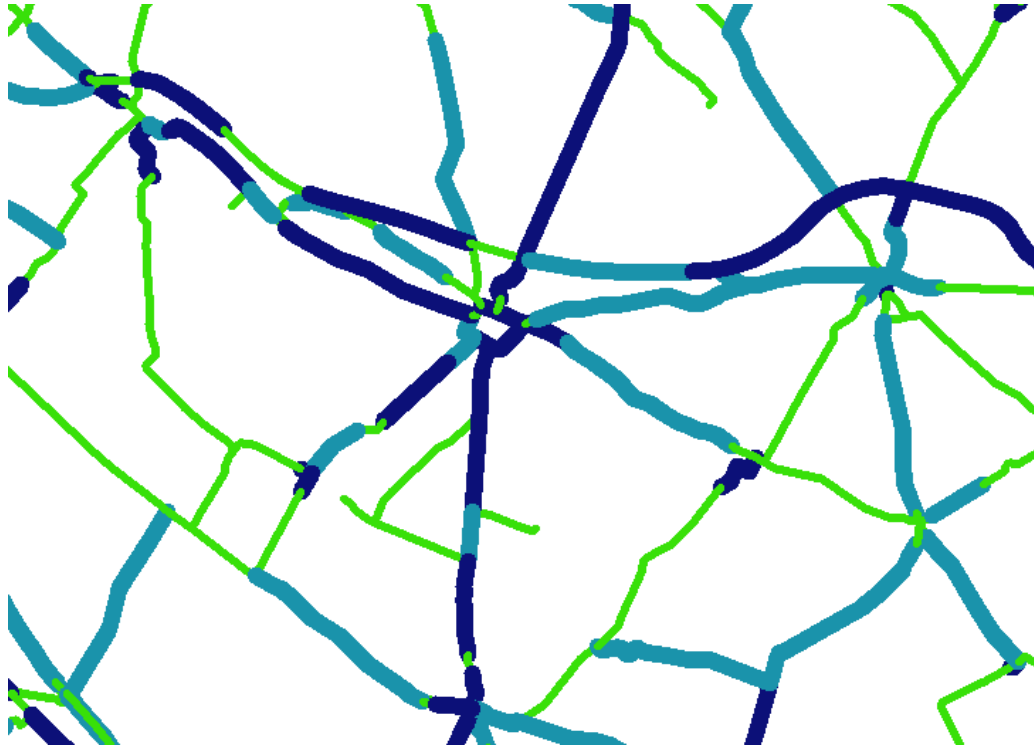
8.2. Az autonóm járművek hatására alakuló veszteségértékek

Az eredményeket egy térinformatikai szoftver, az ArcGIS segítségével jelenítettem meg. A térkép ahhoz az adatbázishoz kapcsolódik, amiből dolgoztam. Ezen a térképen a fajlagos veszteségértékek különbségét jelenítettem meg. Ez megmutatja nekünk, hogy hol vannak azok a szakaszok, ahol jelentős mértékű gazdasági hasznot lehetne elérni az autonóm járművekkel.



13. ábra: A hazai közúthálózat javíthatósága *(forrás: saját szerkesztés)*

A sötétkéssel jelölt szakaszokon lehetne a legnagyobb javulást elérni, ezt követően a világoskék és zöld színűeken. A leghalványabb színű, -29-es értékek jelölő szín csupán véletlenszerű hiba eredménye, szinte nincs is ilyen a térképen. A zöld színű szakaszok azok, ahol nem érhető el lényegi haszon az autonóm járművek hatására. Ezek az általunk nem vizsgált, „egyéb balesetek” kategóriába esnek. A világoskék szakaszokon pedig szintén jelentős javulást lehetne elérni, közepes mértékben.



14. ábra: Cegléd közelében lévő országos közutak *(forrás: saját szerkesztés)*

Az ábrán a ceglédi körgyűrű helyezkedik el. Látható, hogy az általam választott csomópontban és a környező szakaszokon is jelentős javulás, balesetmegelőzés lenne elérhető.

Az autonóm járművek összes költségét nehéz lenne felmérni: mennyibe kerülne, ha minden járművünk önvezető lenne; milyen infrastrukturális beavatkozásokat kéne tenni a biztonságos közlekedésükhöz - és minden egyéb/nem ismert kiadás is ide tartozik. Azonban hosszútávon kétségtelenül magas gazdasági hasznot jelentenének.

9. Összefoglalás

A jelenlegi útkialakítás miatt magas közlekedésbiztonsági kockázatot jelentő infrastrukturális elemeken az autonóm járművek bevezetésének hatására a szükséges beruházás nélkül is egyértelmű balesetcsökkenő hatás mutatható ki. A közlekedésbiztonság feltehetően nőne. Ezért az országos közúthálózat javíthatósági potenciál alapon - vagy egyéb módon - meghatározott beruházási rangsorában az autonóm járművek hatására jelentős változás prognosztizálható. A jövőbeni beruházási tervek kialakítását a jelenség figyelembe vételével szükséges megtenni.

Ábrajegyzék

1. ábra: Autonóm járművek közlekedése (forrás: [2])	6
2. ábra: Az egyes baleseti típuscsoportok (forrás: [7]).....	14
3. ábra: A kérdőívben feltett kérdés egyike (forrás: saját szerkesztés)	15
4. ábra: Szakértői szintek (forrás: saját szerkesztés)	16
5. ábra: Az emberi hiba, mint balesetek okozója a kitöltők szerint (forrás: saját szerkesztés).....	17
6. ábra: Hisztogramok (forrás: SPSS)	19
7. ábra: A ceglédi csomópont helyszínrajza (forrás: saját szerkesztés)	22
8. ábra: Kerékpáros átvezetés felfestés nélküli gyalogátkelőhely (forrás: saját fénykép)	23
9. ábra: Kerékpáros átvezetés felfestés nélküli gyalogátkelőhely (forrás: saját fénykép)	23
10. ábra: Hirtelen megjelenő kerékpáros ott, ahol nincs kerékpárút (forrás: saját fénykép)	24
11. ábra: Hirtelen megjelenő kerékpáros ott, ahol nincs kerékpárút (forrás: saját fénykép)	24
12. ábra: Az éves gazdasági haszon új forgalomtechnika és autonóm járművek bevezetésének hatására (forrás: saját szerkesztés)	26
13. ábra: A hazai közúthálózat javíthatósága (forrás: saját szerkesztés)	28
14. ábra: Cegléd közelében lévő országos közutak (forrás: saját szerkesztés)	29

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A minták közötti hatásnagyság (forrás: [6])	12
2. táblázat: A kitöltők válaszai (forrás: saját szerkesztés)	16
3. táblázat: A Kolmogorov-Smirnov próba eredményei (forrás: saját szerkesztés).....	18
4. táblázat: A Wilcoxon-féle előjeles rang próba eredményei (forrás: saját szerk.)	20
5. táblázat: Cegléden történt balesetek adatai (forrás: Web-Bal)	21

Forrásjegyzék

- [1] Deák Ferenc, "Zebra hírlevél", Közlekedéstudományi Intézet, ápr. 2017.
- [2] „Driver assistance systems for citites”. [Online]. Elérhető: <http://www.bosch-mobility-solutions.de/en/highlights/automated-mobility/driver-assistance-systems-for-urban-areas/>. [Elérés: 29-okt-2017].
- [3] National Highway Traffic Safety Administration, „Automated Vehicles Policy”
- [4] „A térinformatika a társadalomtudományban|Digitális Tankönyvtár”. [Online]. Elérhető:
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_2A_16_Csizmady_Adrienne_Terinformatika_a_tarsadalomtudomanyban_cimu_targyhoz_digitalis_tankonyv_fejl/ch06.html. [Elérés: 29-okt-2017].
- [5] „SPSS - Letöltés”. [Online]. Elérhető: <https://spss.hu.softonic.com/>. [Elérés: 29-okt-2017].
- [6] Berta Tamás, "Vezetés közbeni figyelemelterelő hatások vizsgálata", Közlekedéstudományi Intézet, máj. 2016 .
- [7] „Win-Bal programok kódleírása”.
- [8] Turner, B. Steinmetz, L., Lim, A. and Walsh, K. (2012). "Effectiveness of Road Safety Engineering Treatments". AP-R422-12. Austroads Project No: ST1571.