

Giroszkóppal kompenzált gyorsulás szenzoros járműtrajektória mérés

A járműtrajektóriák előállításához szükséges gyorsulásszenzoros távolságmérés egy tovább fejlesztett módszerének bemutatása jelzi, hogy a valóságban az útpálya vonalvezetése és a felületi hibák miatt a műszer dőlésszöge egyfolytában változik, ami hatással van a mérés végeredményére. Megállapítható, hogy milyen módszerrel lehet ezt a problémát megoldani.

DOI 10.24228/KTSZ.2020.5.3

Mika Péter

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
Széchenyi István Egyetem, Győr
e-mail: mikap9028@gmail.com

1. BEVEZETÉS

A forgalom modellezésében, valamint az útburkolati hibák pozíciójának mérőkocsival történő meghatározásában szerepet játszik a járműtrajektória. A mérési módszerrel pontosan lehet rögzíteni a mérőkocsi helyzetét, illetve az útburkolaton jelenlévő hibákat is. A burkolati hiba, felületi egyenetlenség többletterhelést indukálhat, amely így mozgó járművel pontosan detektálható. A terhelés rongálja a burkolatot és csökkenti annak hátralévő élettartamát. A pályaszerkezet tervezésekor az úton lezajló forgalmat veszik alapul, az úgynevezett mértékadó forgalomnagyságot, tehát a pályaszerkezetre történik egy forgalmi méretezés és ellenőrzés is [2]. Az útburkolat-gazdálkodás egyik feltétele, hogy a meglévő úthálózat egyes szakaszainak hátralévő élettartamát becsülni tudjuk, amelyre több számítási metódust fejlesztettek ki az elmúlt évtizedekben [3], [4]. Ezek a becslési módszerek a pályaszerkezet teherbíró képességének megállapításán alapulnak [5], [6]. Az útpályaszerkezetek méretezése

is mechanikai módszerrel történik, ahol az egyes szerkezeti rétegek vastagságát határozzák meg [7], [8]. Az eljárás során a kritikus helyeken meghatározzák az igénybevételeket, amelyet a határ-igénybevételekhez hasonlítanak. A megépült útburkolat teherbírását is mérik egy felülvizsgálat során, amely történhet egy pontban, illetve folyamatosan [9] [10]. A szenzoros vizsgálati módszerrel a terhelést a hely függvényében lehet megállapítani. További előnye a módszernek, hogy folyamatos mérést tesz lehetővé. A terhelés pontos helyének megállapításához a jármű pozícióját szükséges meghatározni. Erre lehet megoldás a járműtrajektória. Ez a módszer mozgás közben 1 m pontossággal képes a pozíciót meghatározni, szemben a GPS 10 m-es pontosságával [1]. A gyorsulás szenzoros járműtrajektória előállítása sík, vízszintes terepen viszonylag könnyen megvalósítható. A problémát az útburkolat lejtése, nyomvonalvezetése és a felületi egyenetlensége okozza. Ezek befolyásolják a műszer dőlésszögét, így a mérés végeredményét is. Ez indokolta, hogy giroszkópot alkalmazzak, ami a műszert

folyamatosan vízszintesen tartotta a mérés során. Így végeztem vizsgálatokat épületen belüli és kültéri terepi körülmények között is.

2. A GYORSULÁSI ADATOK FELDOLGOZÁSI MÓDSZERE

A gyorsulási adatok rögzítése során előfordul, hogy álló helyzetben nullától eltérő értékeket mutat, ami végül a végeredmény torzulásához vezet, ezért ezeket ki kell szűrni és egy korrekciós tényezővel helyesbíteni szükséges. Annak eldöntésére, hogy mi alapján kompenzáljam a mért adatokat, hogyan találjam meg az álló és mozgó szakaszok határát, több kísérletet is elvégeztem. Az első kísérlet célja annak eldöntése, hogy az álló és a mozgó szakaszok határa milyen módszerrel állapítható meg, illetve milyen számítási módszerrel dolgozzam fel az adatokat. A kísérletet vízszintes felületen végeztem, és a megtett távolságokat jelöltem az asztalon. A műszert szabad kézzel mozgattam, de a sebességben nem volt szignifikáns eltérés az egyes szakaszokon. A mérés szakaszosan történt a megtett teljes távolság 0,60 m volt az egyes szakaszok pedig 0,15 m-esek.

Cél, hogy a sebességgörbét a valóságnak megfelelő állapotba hozzam a gyorsulásértékek korrigálásával úgy, hogy ne alakuljon ki negatív sebességérték. A korrekció a gyorsulásértékek pozitív vagy negatív eltolását jelenti. Így a pillanatnyi gyorsulás a következő képlettel számítható:

$$a(t) = a_y(t) + k_i \quad (1)$$

Ahol a k_i az adott szakasz korrekciós tényezője.

A mért adatok korrigálását az alábbi különböző módszerekkel végeztem. A mérés során a műszer vízszintes helyzetű, a mozgás szakaszos jellegű, a megtett távolság pedig 60 cm. Az álló szakaszokon mért gyorsulásértékeket minden esetben kinulláztam:

a, a teljes gyorsulás adatsor elejének a 0-ra igazítása sima eltolással (+/-) értékkel,

b, az álló helyzetben mért sebességadatok szakaszonként összegzem, majd ezt és a

mozgásban mért sebességadatok utolsó elemét nullára helyezem,

c, az álló helyzetben mért gyorsulásértékeket eltolom (+/-) értékkel úgy, hogy a ne alakuljon ki negatív sebességérték. A mozgásban mért adatok utolsó elemét eltolom a nullába.

A nyers gyorsulási adat önmagában nem használható fel a megtett távolság számításához, mert álló helyzetben eltér a nullától az átlaggyorsulás, ezért mindenképpen korrigálni kell. A szakaszos mérés közben négy alkalommal indult újra az eszköz, tehát 5 álló és 4 mozgó rész van egy mérésben. A szakaszok határát a gyorsulásértékek kiugrásából lehet tudni. A korrekciós tényező számítása egy optimalizációs probléma, amelyet lineáris programozási modell segítségével a következőképpen lehet felírni:

$$\sum_{i=1}^n v_i \rightarrow 0 \quad (2)$$

ahol v_i a sebesség értéke az i -edik időpontban.

A korlátozó feltételek:

- $k \in \mathbb{R}$
- $-10 \leq k \leq 10$
- $v_0 = 0$
- $i = 1, \dots, n$

A sebességet a következő képlet alapján lehet számolni:

$$v_i = v_{i-1} + (a_{yi} + k) \cdot \Delta t \quad (3)$$

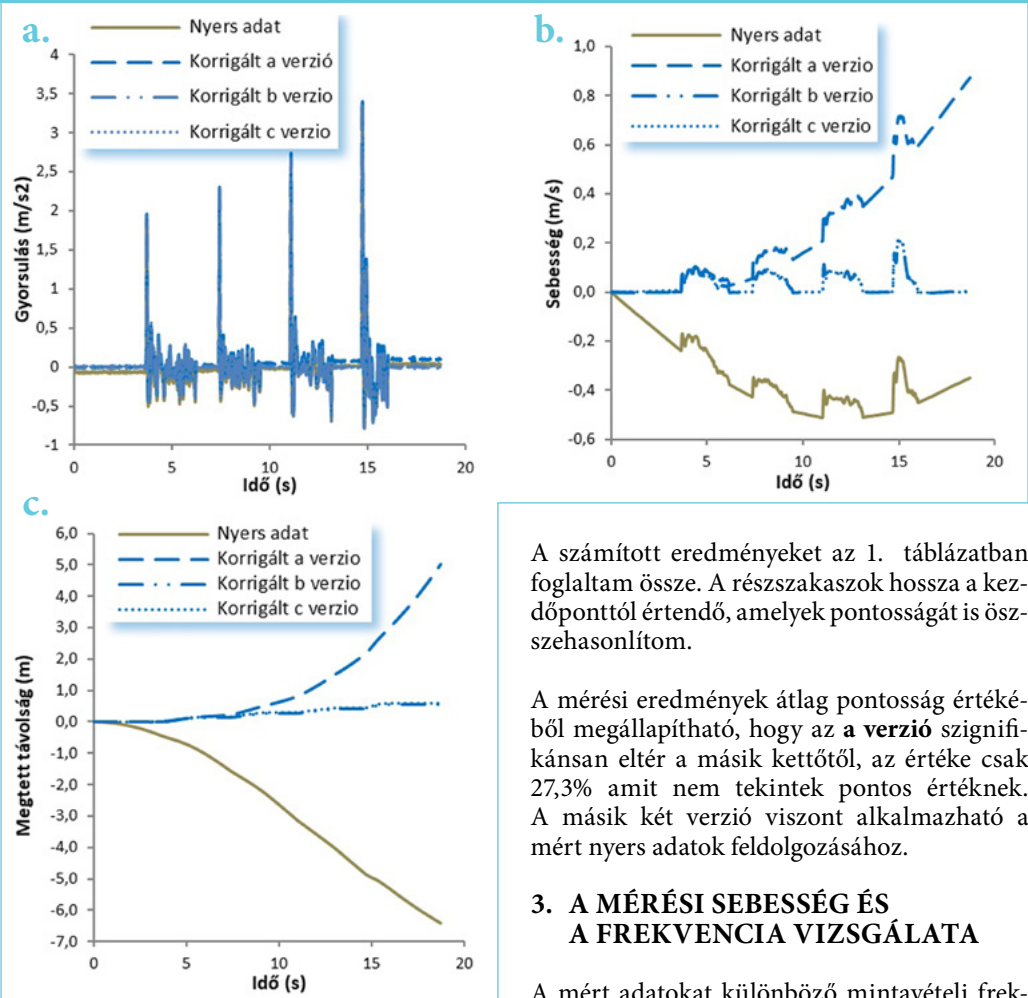
ahol,

- a_{yi} – a mért gyorsulásérték az i -edik időpillanatban
- k – korrekciós tényező
- Δt – a mintavételi időköz (állandó=0,02s)

Az elvégzett számítás után a következő eredményre jutottam, amelyet az **1. ábra** szemléltet.

A gyorsulásértékek között nincs jelentős különbség, ezért a sebesség és a megtett távolság diagramokat elemzem. Az jól látszik a diagramokból, hogy a nyers adat és az **a számítási verzió** torzképet mutat, tehát egyértelműen

1. ábra: A különböző számítási módszerek összehasonlítása (a) gyorsulás, (b) sebesség, (c) megtett távolság. (saját szerkesztés)



A számított eredményeket az 1. táblázatban foglaltam össze. A részzszakaszok hossza a kezdőponttól értendő, amelyek pontosságát is összehasonlítom.

A mérési eredmények átlag pontosság értékéből megállapítható, hogy az **a verzió** szignifikánsan eltér a másik kettőtől, az értéke csak 27,3% amit nem tekintek pontos értéknek. A másik két verzió viszont alkalmazható a mért nyers adatok feldolgozásához.

3. A MÉRÉSI SEBESSÉG ÉS A FREKVENCIA VIZSGÁLATA

A mért adatokat különböző mintavételi frekvencián rögzítem, így megállapítható, hogy mennyire érzékeny a mérés a frekvenciára. Korábban folytattam vizsgálatot személygépjárművel sík terepen, ahol szintén különböző

kijelenthető, hogy nem alkalmasak a mérési adatok feldolgozására. A másik két változat viszont közel azonos eredményt produkál.

1. táblázat: Az egyes feldolgozási módszerek eredményei (saját szerkesztés)

A mérési eredmények összefoglalása a mérési adat feldolgozási módszer szerinti bontásban									
Szituáció	1. szakasz hossza (m)	1. szakasz pontossága	2. szakasz hossza (m)	2. szakasz pontossága	3. szakasz hossza (m)	3. szakasz pontossága	4. szakasz hossza (m)	4. szakasz pontossága	Átlag pontosság
a	0,173	84,6%	0,556	14,5%	1,554	0,0%	3,057	0,0%	27,3%
b	0,139	92,8%	0,271	90,4%	0,414	92,1%	0,557	92,8%	92,1%
c	0,162	91,6%	0,299	99,7%	0,445	99,0%	0,591	98,6%	97,2%

2. táblázat: A mérési eredmények összefoglalása a különböző mintavételi frekvenciák és mérési sebességek szerint

1,43 Hz		2,85 Hz		50 Hz		200 Hz	
Mérés sebessége (m/s)	Pontosság (%)	Mérés sebessége (m/s)	Pontosság (%)	Mérés sebessége (m/s)	Pontosság (%)	Mérés sebessége (m/s)	Pontosság (%)
0,17	2,5%	0,17	31,7%	0,17	62,1%	0,18	44,4%
0,43	97,4%	0,44	97,6%	0,55	94,9%	0,56	95,1%
0,27	68,9%	0,36	92,4%	0,40	95,2%	0,42	91,1%
0,52	98,6%	0,60	98,0%	1,00	99,1%	1,18	99,7%
0,38	80,0%	0,41	96,8%	0,49	95,7%	0,51	94,1%
0,95	99,6%	0,54	97,4%	1,08	98,3%	0,97	97,8%

frekvenciákon történt a mintavétel, és arra a következtetésre jutottam, hogy ez nem befolyásolja jelentős mértékben a végeredményt [1]. Most ebben a megváltozott környezetben, ahol a megtett távolság csak 1 m körüli, a sebesség is csak 1 m/s körüli, tehát nagyságrenddel kisebb ezért szükségesnek tartottam az új-bóli vizsgálatot.

Kis frekvencia tartományban 1,43-2,85 Hz a mintavételi idő instacionárius, emiatt nehéz megállapítani a mozgásban lévő tartományt, ami a végeredmény erős torzulásához vezethet. A frekvenciavizsgálathoz négy különböző frekvencián különböző mérési sebesség mellett végeztem mérést. Az egyes szakaszokon mért átlagsebesség a következő kifejezéssel számítható.

$$\bar{v} = \frac{x}{t_k - t_i} \quad (4)$$

ahol,

x : a mérőműszerrel mért megtett távolság

t_i : a mért adatsorból a szakasz elején levő idő adat

t_k : a mért adatsorból a szakasz végén levő idő adat

A továbbiakban megvizsgáltam, hogy a mérési sebességtől hogyan függ a mérés pontossága. Erre a legjobb módszer a regresszióanalízis. Jelen esetben nemlineáris regressziót alkalmaztam a pontos görbeillesztés miatt. A legjobb illeszkedés egy hatvány függvénnyel érhető el, amit a következő alakban írtam fel:

$$f(x) = A \cdot x^B \cdot e^{Cx+D} \quad (5)$$

A regressziós együtthatók

A: 21,11

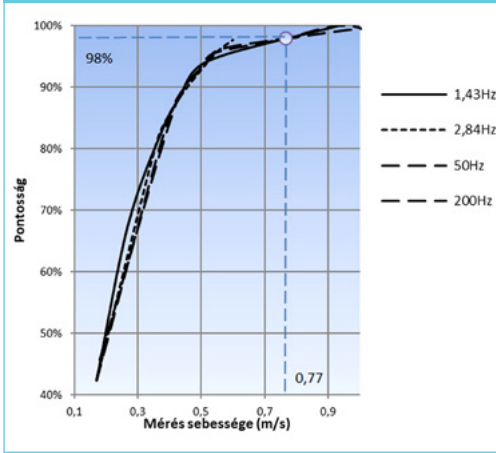
B: 0,04

C: -0,05

D: -19,17

A regresszióvizsgálatot követően a négy különböző frekvenciagörbét diagramon ábrázoltam, amin bejelöltem a 98%-os pontosságot, amihez 0,77 m/s mérési sebesség tartozik. Ez azt jelenti, hogy legalább ekkora sebességgel célszerű mérni, ha 98%-os pontosságot akarunk elérni. Természetesen nem csak ez az egy tényező befolyásolja a mérést, ezért kisebb sebesség mellett is kaphatunk ilyen pontosságot, és fordítva, nagyobb sebesség mellett is előfordulhat kisebb pontosság. A vizsgálat csak arra mutat rá, hogy ideális esetben a különböző mérési sebességek mellett milyen pontosság érhető el, valamint az is

2. ábra: A mérés pontossága a sebesség függvényében különböző frekvenciákon

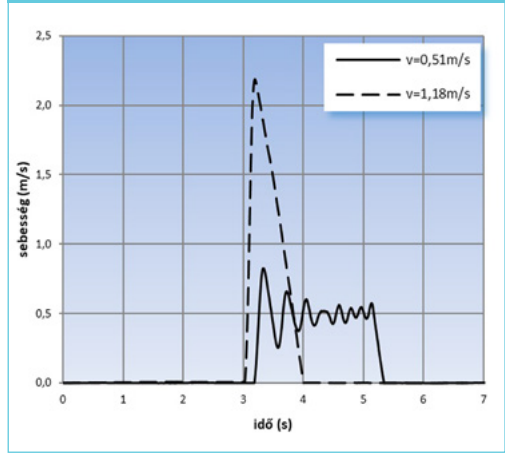


kiderül, hogy a mintavételi frekvenciák közt nincs szignifikáns különbség.

A vizsgálatból az is kiderül, hogy ilyen kis távolság és sebesség esetén is gyenge az összefüggés a mintavételi frekvencia, valamint a mérés pontossága között. Mindazonáltal ajánlott a magasabb frekvencia alkalmazása, mert ez megkönnyíti a szakaszhatárok azonosítását, továbbá a sebességet is pontosabban ki lehet számolni. Még egy dolog megfigyelhető a 2. ábrán mégpedig az, hogy a kezdeti szakaszban meredeken, szinte lineárisan növekszik, majd 0,5 m/s-nál van egy törés, itt 92% körüli pontosság érték van, innentől pedig lassú a növekedés. A 92%-os mérési pontosság durva közelítő méréshez megfelelő lehet és elegendő 0,5 m/s-os sebesség, ami kisebb, mint egy gyalogosé, ezt nem nehéz elérni. A mérési módszert gépjárműre fejlesztettem ki, ami ettől lényegesen nagyobb sebességekre képes, így nagy valószínűséggel a mérés sebessége nem fog hibát eredményezni a kiértékelésnél.

Érdekes megfigyelni a sebességgörbék alakját is. A sebesség növekedésével egy érdekes jelenség tapasztalható, ami miatt a görbe kisimul és egyenletes lesz. Ez a jelenség 1 m/s sebességértéknél jelentkezik a 3. ábrán látható módon. Tehát magasabb sebességnél a zaj eltűnik a sebességgörbéből. Terepi mérés során ez a jelenség

3. ábra: A sebesség görbék összehasonlítása (saját szerkesztés)



nem volt tapasztalható, mert ott nagyságrenddel nagyobb sebességértékek alakultak ki [1].

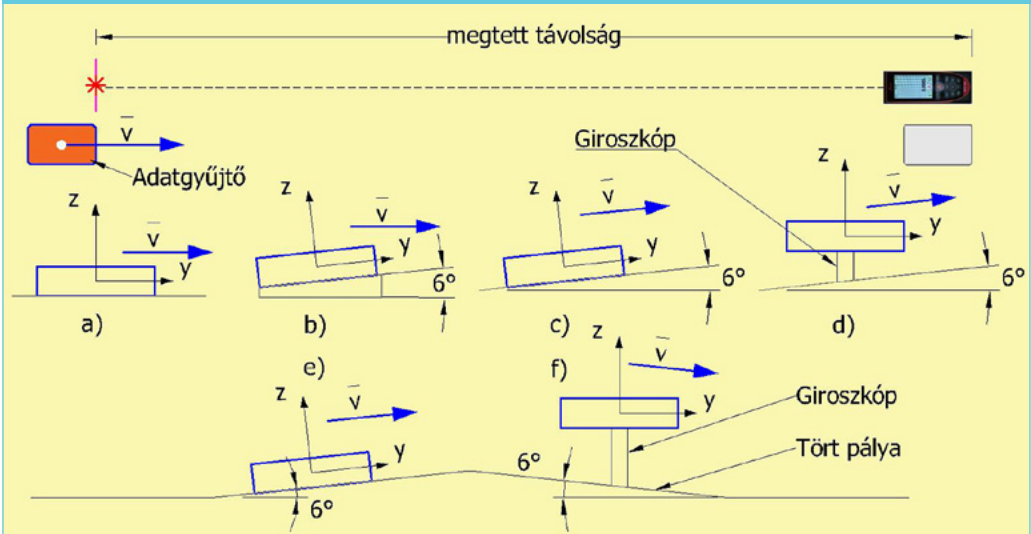
4. A KÜLÖNBÖZŐ SZITUÁCIÓK VIZSGÁLATA

A számítási módszert különböző szituációkon teszteltem. A valóságban egy utazás során nem végig folyamatosan, hanem menet közben a jelzőlámpák, gyalogosok vagy egyéb nem várt esemény miatt meg kell állni, ezért a mérési módszernek kezelni kell ezt a szituációt. Továbbá az út nyomvonalvezetése általában nem teljesen sík, ezért vizsgálom a lejtőn mért adatokat is. Emiatt szükséges a következő vizsgálat elvégzése, amelyre hat különböző szituációt fogalmaztam meg. A mérést 200 Hz mintavételi frekvencia mellett 1 m/s körüli sebességgel végeztem. A lejtőt egy fa ék képezte, aminek hajlásszöge 6,00°. A hajlásszög méréséhez Leica disto s910 mérőműszert használtam. A megtett távolságot minden esetben egyedileg mértem le, és ehhez hasonlítottam a számítottat. A mérési szituációkat az alábbiak szerint fogalmaztam meg és a 4. ábra szemlélteti.

a, Az adatgyűjtő vízszintesen mozog, a mérés iránya megegyezik a mozgás irányával.

b, Az adatgyűjtő dőlt helyzetű és vízszintesen mozog, a mérés iránya nem egyezik a mozgás irányával.

4. ábra: A mérési szituációk (saját szerkesztés)



c, A terep dőlt az adatgyűjtő párhuzamos irányú a mozgással, a mérés iránya megegyező a mozgás irányával.

d, A terep dőlt az adatgyűjtő vízszintesen mozog, a mérés iránya nem egyezik a mozgás irányával.

e, A terepben emelkedő és lejtő van, a műszer a pálya síkjával párhuzamosan mozog.

f, A terepben emelkedő és lejtő van, a műszer vízszintes helyzetben mozog.

- **Okostelefon:** A beépített szenzor típusa BOSCH BMI120
- **Távolságmérő:** LEICA DISTO S910

A vizsgálatot egy asztalon végeztem el 200 Hz mintavételi frekvencián. A kiindulási pontot jelöltem az asztalon, mint bázispontot. A mérést az első négy szituáció esetén kétszer hajtottam végre, egyszer megállás nélkül, egyszer pedig megálltam mérés közben, ez utóbbit szaggatott mérésnek neveztem el a **3. táblázatban**. Mivel a mérés sebessége befolyásolja a pontosságot ezért ezt feltüntettem a táblázatban, viszont a szaggatott mérésnél a két mozgásban lévő szakasz átlagát adtam meg. Az **e** és az **f szituációk** esetén csak folytonos mérés történt.

A **b** és az **e** szituációk alacsony pontosságot értek el. A két szituáció viszont különbözik egymástól. Ha összehasonlítjuk azokat, akkor az alapvető különbség az, hogy a műszer vízszintes vagy dőlt helyzetű a mérés közben. Három esetben az **a,d,f** vízszintes és a másik három esetben pedig dőlt helyzetű. A pontatlanság két esetben (**b** és **e**) szignifikánsan jelentkezett. A közös bennük, hogy mindkét esetben dőlt helyzetű a műszer, de az **e** esetben két irányban is dőlt a mérés során, egyszer emelkedőn,

A vizsgálattal megválaszolendő kutatási kérdések.

- Az első négy szituáció közül melyikben történt pontos mérés?
- Fontos-e a műszert vízszintesen tartani?
- Tört pálya teszt. Van-e különbség a sima és a giroszkópos mérés között?
- Van-e hatása a kezdeti gyorsulás értéknek a pontosságra?
- Befolyásolja-e a mért és a számított sebesség különbsége a pontosságot?

A mérés végrehajtásához felhasznált mérőeszközök:

3. táblázat: A különböző szituációkban elért pontosságok.
(saját szerkesztés)

	Mérés sebessége (m/s)	Pontosság (%)
a) szituáció folytonos	0,82	96,7
a) szituáció szaggatott	0,53	99,9
b) szituáció folytonos	0,46	94,9
b) szituáció szaggatott	0,61	46,2
c) szituáció folytonos	0,85	98,0
c) szituáció szaggatott	0,74	94,2
d) szituáció folytonos	0,77	99,8
d) szituáció szaggatott	0,28	97,5
e) szituáció folytonos	0,85	60,3
f) szituáció folytonos	0,36	93,1

egyszer lejtőn haladt. A c esetben is dőlt helyzetű a műszer, viszont itt elég magas értéket ért el a pontosság.

A törtpálya teszt során giroszkóp nélkül 60%, míg giroszkóppal 93% pontosságot értem el 0,36 m/s sebesség mellett, ami a 2. ábra alapján is csak 87% körüli pontosságnak felel meg, ami alapján elég meggyőző a giroszkóppal elért eredmény.

5. GIROSKÓPOS TEREPI MÉRÉS, IPARI PARK

A mérés végrehajtásához felhasznált mérőeszközök:

- Gyorsulás szenzor: BOSH BMI120
- Adatgyűjtő: Okostelefon

Távolságmérő: LEICA DISTO S910+Tripod

A mérés helyszínénél a korábbi gyorsulásszenzoros vizsgálat helyszínét választottam [1]. A vízszintes útszakaszon kimértem a távolságmérővel száz métert 5. ábra.

A gépjárművel a kijelölt szakaszon mentem végig mindkét irányban felváltva, a mérés elvi vázlatát a 6. ábra mutatja. Amikor a kiemelt szegély felé hajtottam a kezdő pozícióban az első kerék a burkolati jelen volt és végpozícióban a kiemelt

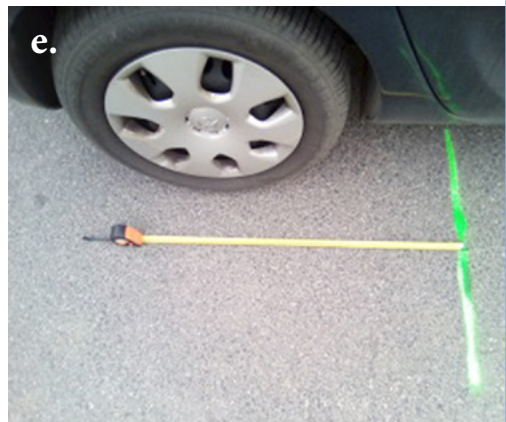
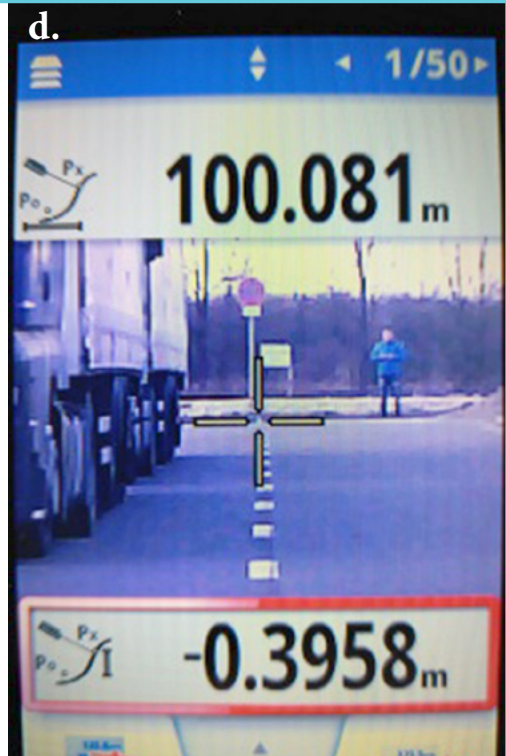
szegélynek ütközött, így a keréktalp pontja eltolódott S₁ távolságra, ezért a megtett távolság lecsökkent 99,70 m-re, amit a 4. táblázatban is feltüntettem. Az ellenkező irányba történő mérésnél a kezdő pozícióban a hátsó kerék a kiemelt szegéllyel érintkezik ezért a jel 99,70 m tesz meg a jármű, a megállást követően pedig minden esetben a kerék talp-pontjának távolságát lemértem (5. ábra) és jegyzőkönyvben rögzítettem. A műszer elhelyezése a

jármű középkonzolján rögzített giroszkópon történt. A műszert a jármű hossz tengelyével megegyezően, vagyis a menetiránynak megfelelően állítottam be. A gyorsulási irányok értelmezését a 7. ábra mutatja.

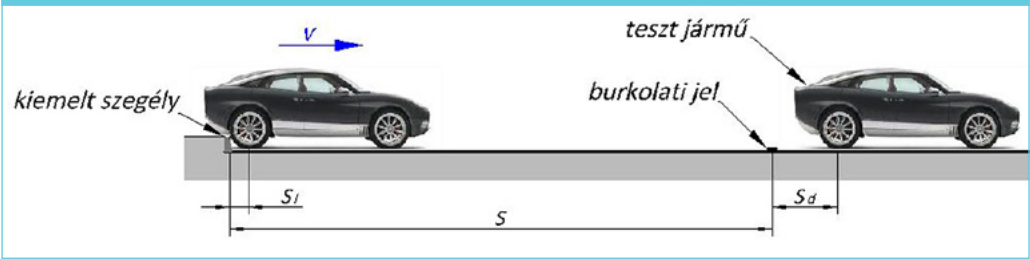
A giroszkóp egyensúlyban tartja a műszert. A giroszkóp bekapcsolása előtt a telefon súlypontját a forgásközéppontba kell állítani a giroszkóp vízszintes karjának növelésével, aminek hosszát a 7. ábrán b-vel jelöltem. A kiegyensúlyozást követően a műszer egy bizonyos határon belül még egy β szöggel elforgatható, ezt szemlélteti a 7. ábra. A kijelölt szakaszon negyven mérést hajtottam végre 50 Hz-es mintavételi frekvencián, a mérés eredményeit a 4. táblázatban foglaltam össze.

A táblázatban szürke aláfestéssel jelöltem a 92% alatti pontosságú méréseket, és az tapasztalható, hogy minden második, vagyis a kiemelt szegély felé történő mérés az. Tehát valami hiba történt a mérés során. A feltételezésem az, hogy a műszer beállításából adódhatott a hiba, mivel egy bizonyos β szöggel elfordulhat a befogáskor és csak egyszer a mérés kezdetén állítottam be a műszert, az úttestnek pedig van egy enyhe 0,4%-os hosszúsága 5. ábra (d). Amennyiben csak a burkolati jel felé történő mérést nézem, úgy 96,9%-os a pontosság.

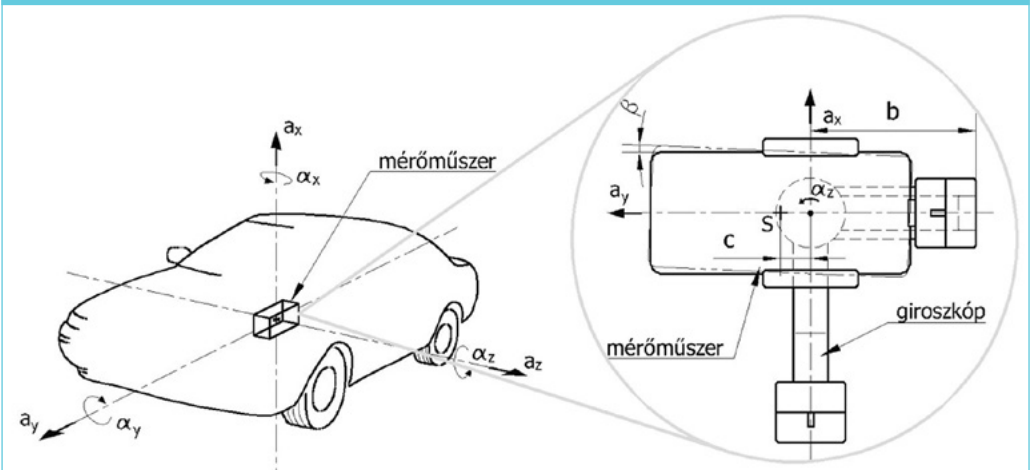
5. ábra: A 100m-es szakasz és a szintkülönbség kimérése (a) lézeres távolság mérő, (b) célpont, (c) a mért távolság (d) a szintkülönbség (e) a burkolati jeltől mért távolság. (saját szerkesztés)



6. ábra: A távolság mérés elvi vázlata. (saját szerkesztés)



7. ábra: A mérőműszer elhelyezkedése a járműben és gyorsulási irányok értelmezése (saját szerkesztés)



Elsőként a pontosságot vizsgáltam meg, ami meglepő módon a két irányt külön átlagolva szignifikáns különbséget mutat. A statisztikai adatokból megfigyelhető, hogy az adatok nem a mediánnál, hanem az alsó illetve a felső kvartiliseknél vannak nagyobb számban, nagyjából ugyanannyi darabszámban, ami igazolja, hogy a két irány eltérő pontosságot mutat. A kiemelt szegély felé 85%, a burkolati jel felé pedig 97% a pontosság.

A jelen mérési eredmények elég meggyőzőek, viszont ha a korábbi ipari parki normál mérés [1] eredményével összevetem, ahol a normálmérés 93% lett, akkor ez jobbnak mondható, de ha a jelen cikkben közölt mérési eredményeket irányonként külön vizsgálom, akkor a mostani giroszkóppal kompenzált mérés mutat jobb eredményt.

A korrigált mérési adatok feldolgozásából megállapítható, hogy a pontosság számtani átlaga 98,58% lett, ami a mérési módszer pontossága.

A későbbi mérési eredmények értékeléséhez meghatározom a mérési módszer konfidencia intervallumát matematikai statisztikai módszerrel [11]. Legyen a becslés várható érték $\hat{m}_n=98$, ami az általam kidolgozott mérési módszer pontossága. A konfidencia intervallum 95%-os megbízhatósági szintjén az $\varepsilon=0,05$, a mintából vett statisztikai szórás $\sigma=0,98$, a minta darabszáma pedig $n=40$. A várható értéket valószínűségi változónak tekintve a következő összefüggés írható fel.

$$P(C_{n,\varepsilon}^1 \cdot \hat{\beta}_n + \hat{m}_n < m_n < C_{n,\varepsilon}^2 \cdot \hat{\beta}_n + \hat{m}_n) = 1 - \varepsilon \quad (6)$$

4. táblázat: Az ipari parki terepi mérés adatait összefoglaló táblázat. (saját szerkesztés)

s.sz.	Eredeti mérés										Korrigált mérés		
	Mérés iránya	Jeltől való eltérés (m)	Mért távolság (m)	Számított távolság (m)	Távolság eltérés (m)	Mért sebesség maximuma (km/h)	Számított sebesség maximuma (km/h)	A sebesség-különbségek (km/h)	A kezdeti gyorsulás értéke (m/s ²)	Pontosság (%)	Számított távolság (m)	Távolság eltérés (m)	Pontosság (%)
1	KSZ		99,70	88,41	-11,29	40	33	7	-0,53	88,68	98,20	-1,50	98,50
2	BJ	-0,68	99,02	100,63	1,61	48	44	4	-0,58	98,37	100,63	1,61	98,37
3	KSZ		99,70	85,48	-14,22	46	39	7	-0,52	85,74	98,61	-1,09	98,91
4	BJ	-0,78	98,92	95,35	-3,57	41	36	5	-0,35	96,39	99,27	0,35	99,65
5	KSZ		99,70	85,17	-14,53	42	36	6	-0,29	85,43	97,31	-2,39	97,60
6	BJ	-0,02	99,68	99,95	0,27	45	41	4	-0,38	99,73	99,95	0,27	99,73
7	KSZ		99,70	85,97	-13,73	42	34	8	-0,31	86,23	102,64	2,94	97,05
8	BJ	-0,36	99,34	102,15	2,81	43	40	3	-0,40	97,17	97,99	-1,35	98,64
9	KSZ		99,70	84,75	-14,95	40	33	7	-0,43	85,01	102,38	2,68	97,31
10	BJ	-0,40	99,30	96,85	-2,45	42	37	5	-0,35	97,53	96,85	-2,45	97,53
11	KSZ		99,70	83,39	-16,31	41	33	8	-0,46	83,64	100,42	0,72	99,28
12	BJ	0,35	100,05	99,55	-0,50	41	37	4	-0,40	99,50	99,55	-0,50	99,50
13	KSZ		99,70	85,34	-14,36	43	35	8	-0,40	85,60	101,80	2,10	97,89
14	BJ	0,35	100,05	102,35	2,30	41	39	2	-0,30	97,70	96,24	-3,81	96,19
15	KSZ		99,70	84,13	-15,57	41	33	8	-0,30	84,38	101,65	1,95	98,04
16	BJ	0,07	99,77	94,93	-4,84	41	36	5	-0,36	95,15	98,85	-0,92	99,08
17	KSZ		99,70	90,93	-8,77	44	39	5	-0,21	91,20	96,45	-3,25	96,74
18	BJ	0,26	99,96	103,50	3,54	44	41	3	-0,37	96,46	99,02	-0,94	99,06
19	KSZ		99,70	87,55	-12,15	44	36	8	-0,17	87,81	101,11	1,41	98,59
20	BJ	0,13	99,83	99,92	0,09	43	39	4	-0,51	99,91	99,39	-0,44	99,56
21	KSZ		99,70	87,50	-12,20	44	37	7	0,00	87,76	102,28	2,58	97,41
22	BJ	-0,08	99,62	102,69	3,07	41	38	3	0,00	96,92	98,25	-1,37	98,62
23	KSZ		99,70	83,46	-16,24	40	32	8	-0,10	83,71	101,88	2,18	97,81
24	BJ	-0,76	98,94	99,45	0,51	42	38	4	0,00	99,48	98,60	-0,34	99,66
25	KSZ		99,70	83,47	-16,23	41	32	9	-0,34	83,72	102,69	2,99	97,00
26	BJ	0,10	99,80	103,72	3,92	41	38	3	0,00	96,07	100,90	1,10	98,90
27	KSZ		99,70	82,42	-17,28	40	32	8	-0,40	82,67	99,69	-0,01	99,99
28	BJ	0,00	99,70	102,77	3,07	41	38	3	0,00	96,92	97,71	-1,99	98,00
29	KSZ		99,70	85,67	-14,03	37	30	7	-0,10	85,93	99,79	0,09	99,91
30	BJ	0,30	100,00	104,10	4,10	42	39	3	-0,12	95,90	99,69	-0,31	99,69
31	KSZ		99,70	82,52	-17,18	41	33	8	0,15	82,77	101,58	1,88	98,11
32	BJ	1,13	100,83	90,82	-10,01	38	32	6	0,36	90,07	98,97	-1,86	98,16
33	KSZ		99,70	81,16	-18,54	39	29	10	0,22	81,40	100,54	0,84	99,16
34	BJ	1,48	101,18	100,96	-0,22	38	35	3	0,01	99,78	101,08	-0,10	99,90
35	KSZ		99,70	85,00	-14,70	39	31	8	0,45	85,26	100,36	0,66	99,34
36	BJ	0,20	99,90	91,74	-8,16	40	34	6	-0,43	91,83	100,08	0,18	99,82
37	KSZ		99,70	78,40	-21,30	38	29	9	-0,25	78,64	98,98	-0,72	99,28
38	BJ	-0,10	99,60	97,40	-2,20	40	36	4	-0,42	97,79	98,36	-1,24	98,76
39	KSZ		99,70	84,22	-15,48	39	32	7	-0,33	84,47	101,33	1,63	98,37
40	BJ	0,90	100,60	95,79	-4,81	40	34	6	-0,60	95,22	102,52	1,92	98,09
										90,95		98,58	

$$\hat{\beta}_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

A fenti képlet alapján $\hat{\beta}_n=0,16>0$ ezért a $C_{n,\varepsilon}^i$ értékeket a

$$\Phi(C_{n,\varepsilon}^2) = 1 - \frac{\varepsilon}{2}, \quad \Phi(C_{n,\varepsilon}^1) = \frac{\varepsilon}{2} \quad (8)$$

összefüggésből határozom meg, ahol ϕ a standard normális eloszlás eloszlásfüggvényét jelöli. Mivel a standard normális eloszlás eloszlásfüggvénye szimmetrikus, azaz a $\phi(-x) = \phi(x)$, ezért $C_{n,\varepsilon}^1=C_\varepsilon$ és $C_{n,\varepsilon}^2=C_\varepsilon$ alakú, ahol $\phi(C_\varepsilon)=\varepsilon/2$. Az $\varepsilon=0,05$ esetben a $\phi(C_{0,05})=-1,96$ lesz.

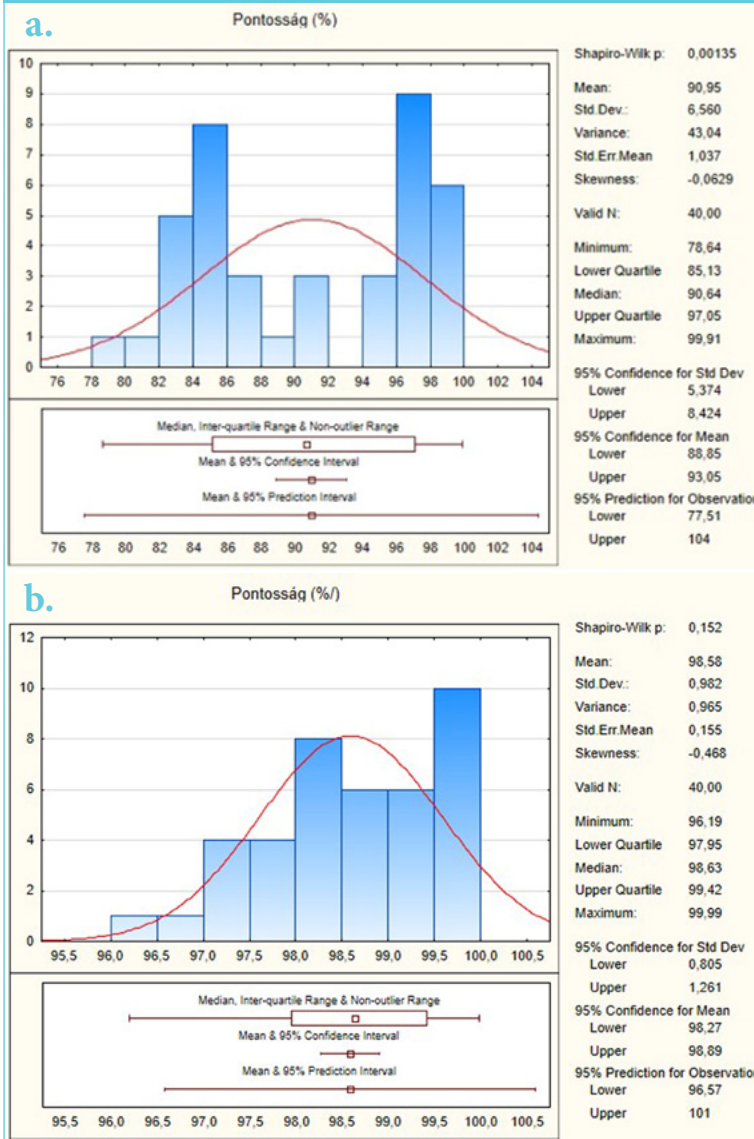
Így a konfidencia intervallum:

$$\begin{aligned} &(C_{n,\varepsilon}^1 \cdot \hat{\beta}_n + \hat{m}_n; C_{n,\varepsilon}^2 \cdot \hat{\beta}_n + \hat{m}_n) = \\ &= (-1,96 \cdot 0,16 + 98; 1,96 \cdot 0,16 + 98) \approx \\ &\approx (97,68; 98,31) \text{ lesz.} \end{aligned}$$

A statisztikában a korreláció-vizsgálat a statisztikai adatok egymás közötti kapcsolatának vizsgálatára szolgál. A mérés során hiba származhat a műszer vízszintbe helyezéséből, mivel ha nincs vízszintben, akkor nem a valós gyorsulást fogja mérni a műszer. Az elfogadható érték $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$, ebben az esetben azt mondható, hogy nincs hatással a kezdeti gyorsulás érték a pontosságra **8. ábra**.

A két változót a Pearson-féle korrelációval vizsgáltam az Ipari parkban mért adatokkal.

8. ábra: A mért adatok statisztikai feldolgozása (a) normál (b) korrigált. (saját szerkesztés)



Amennyiben az együtttható értéke $r(x,y)=\pm 1$, akkor a két változó között lineáris a kapcsolat, pozitív előjel esetén egyenes, negatív előjel esetén pedig fordított. A szorosságot az határozza meg, hogy az r értéke mennyire áll közel a -1 -hez vagy a 1 -hez. A nulla közeli állapot pedig azt jelenti, hogy gyenge, illetve hogy nincs lineáris kapcsolat a két változó között. A korre-

lációs együttthatót a következő összefüggéssel számoltam[12]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (9)$$

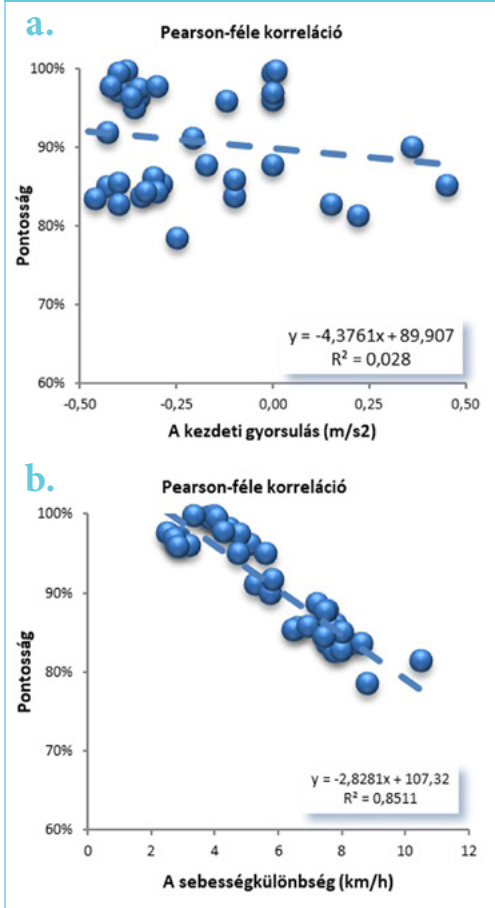
A sebességkülönbség pontosságra gyakorolt hatása szignifikáns **9. ábra**, vagyis fontos a sebesség pontos ismerete. A mért adatok korrigálásához viszont elegendő, egy utazás során a maximális sebességet meghatározni és ez alapján kiszámolni a szükséges korrekciós tényezőt.

8. GIROSKÓPOS TEREPI MÉRÉS, ALSÓ RAKPARTI ÚT

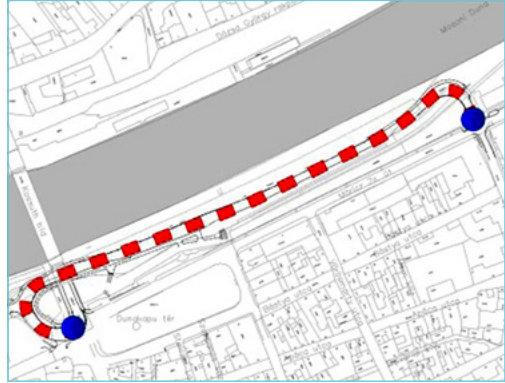
Az alsó rakparti úti mérés lényege, hogy teszteljem a giroszkóppal kompenzált mérési módszert. Az útvonal kiválasztásánál szempont volt, hogy változatos lejt- és ívviszony legyen benne. A mérés során három műszert használtam, egyet a GPS nyomkövetésre, egyet a normálgyorsulásra, egyet pedig a kompenzált gyorsulás mérésre. A mérést

50 Hz-en végeztem mindkét műszerrel. A **10. ábrán** látható EOVS koordináta rendszerben levő helyszínrajzról pontosan lemértem mindkét irányban a megtett távolságot. Ezután összevettem a helyszínrajzi és a GPS által mért távolságot, ami egyik irányba 99,7% a másik irányba 99,9%-os egyezést mutatott. Menet közben figyeltem a jármű sebességmérőjét, ami

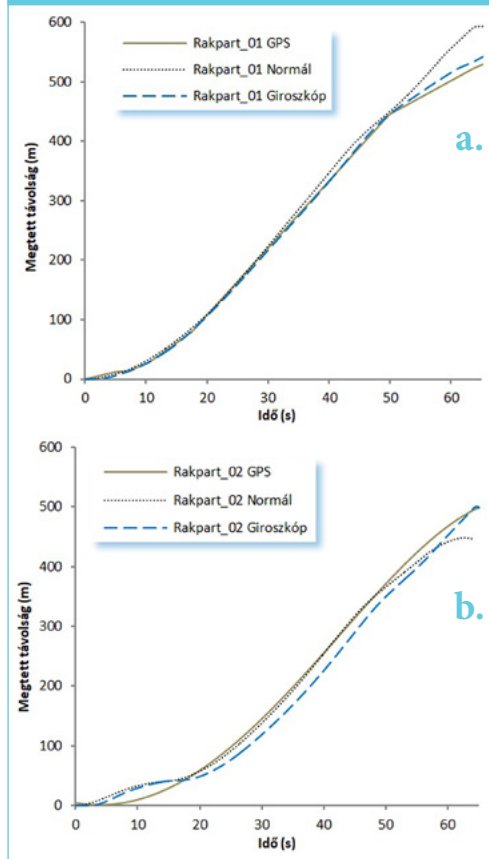
9. ábra: A korreláció számítás eredménye
 (a) A kezdeti gyorsulás-pontosság,
 (b) A sebességkülönbség-pontosság
 (saját szerkesztés)



10. ábra: A kísérleti útszakasz (Győr, Alsó rakparti út). (saját szerkesztés)



11. ábra: A három különböző mérési módszer eredménye út-ido diagramon
 (a) Kossuth-híd felé (b) Dunapart rezidencia felé. (saját szerkesztés)



5 km/h-val többet mutatott a GPS-nél. A kettő közül én a GPS által mért sebességet vettem alapul, a távolság nagypontosságú egyezése miatt.

A helyszínrajzról lemert távolság a forgalmi sáv közepén történt. A helyszínen pontosan álltam fel a járművel, a Kossuth-híd felé a kezdő pont az árvízvédelmi fal vonala volt, a végpont pedig a híd lábánál lévő jelzőlámpához felfestett felállási vonal, amely közt a távolság 497,54 m. A Dunapart rezidencia felé a kezdő pont a híd lábánál lévő zebra, míg a végpont a Dunapart rezidencia előtti gyalogátkelőhely előtti pont, amely közti távolság 511,40 m.

A mérési eredményeket út-idő diagramokon mutatom be **11. ábra**. A Kossuth-híd irányába történő mérés során a normál méréssel 607,11 m távolságot, így 78% pontosságot értem el, míg a giroszkóppal kompenzált méréssel 507,28 m, azaz 98% pontosságot. A Dunapart rezidencia felé 448,45 m távolságot, vagyis 87,7% pontosságot, míg a giroszkóppal 500,75 m, tehát 97,9% pontosságot mértem.

12. KONKLÚZIÓ

A mérést különböző frekvencián lehet elvégezni, ami a pontosságra gyenge hatással van, de a mintavételi időnek állandónak kell lennie. A vizsgálatban használt műszer 50 és 200 Hz esetén használ állandó mintavételi időt, ami sok adatot generál ezáltal könnyebb az egyes szakaszhatárok megtalálása.

A szituációk vizsgálatánál alapvetően két kategóriára lehet osztani az esetet. Az egyik, amikor teljesen vízszintes helyzetben van a műszer, a másik, amikor dőlt. A hat szituációból kettőnél (b és e) jelentkezett szignifikáns eltérés a pontosságban 46% és 60% ami nem megfelelő. A c szituáció esetén is dőlt a műszer, viszont itt magas volt a pontosság értéke. Ez azzal magyarázható, hogy a mérés párhuzamosan történt a mozgással, és nem változik a dőlésszöge, valamint a mérés sebessége a megtett távolsághoz viszonyítva nagy. Tehát az első kutatási kérdésre a válasz a pontosság konfidencia tartományát figyelembe véve az **a**, **c**, és a **d** szituációban történt pontos mérés.

A második kérdésre válaszolva, a megállapításokból az a következtetés vonható le, hogy a mérés során vízszintes helyzetben kell tartani a műszert, vagyis a giroszkóppal kompenzált mérési metódus bármilyen nyomvonalvezetés esetén használható.

A harmadik kutatói kérdésre az a válasz, hogy szignifikáns különbség mutatkozik a sima és a giroszkópos mérés között változó lejtviszonyok esetén. Ezért a terepi mérés során a giroszkóppal kompenzált mérési metódust lehet használni a megbízható, pontos méréshez.

A negyedik és ötödik kutatási kérdésre a választ a korrelációvizsgálat adja. Amennyiben a kezdeti gyorsulás érték $\pm 0,5 \text{ m/s}^2$ közötti, ami származhat a rossz beállításból is, úgy nincs hatással a pontosságra. A mért és a számított sebesség különbsége egyértelműen hatással van a pontosságra, ami azt jelenti, hogy a mérés során fontos a sebesség pontos rögzítése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Mika P., „Járműtrajektória előállítása gyorsulás szenzorból nyert adatokból”, *Közlekedéstudományi Szle.*, köt. 69, sz. 5, o. 18–28, 2019, DOI: <http://doi.org/d2mp>
- [2] Koller Sándor, *Forgalomtechnika*. Budapest: Tankönyvkiadó, 1976.
- [3] Markó Gergely, Primusz Péter, és Péterfalvi József, *Hajlékony útburkolatok élettartamának meghatározása a továbbfejlesztett kézi behajlásmérés alkalmazásával*, köt. Kari Tudományos Konferencia Kiadvány. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 2011.
- [4] R.R.Bartelsmeyer, C.D. Curtiss, és Wilbur S. Smith, „The AASHO Road Test”, *Highw. Res. Board*, sz. Report 6, 1962.
- [5] Fi István, „Háromrétegű rendszerek gépi úton való lehajlásszámítása útpályaszerkezetek méretezéséhez”, *Mélyépítéstudományi szemle*, köt. XXIV. évf., sz. 1, o. 33–36, 1974.
- [6] Gáspár László, Horváth Ferenc, és Lublós László, *Közlekedési létesítmények élettartama*. Győr: Universitas-Győr Nonprofit Kft., 2011.
- [7] Kézdi Árpád, *Talajmechanika II*. Budapest: Tankönyvkiadó, 1954.
- [8] Nemesdy Ervin, „Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapja”, Budapest, 1985.
- [9] József T. és Gábor M., „Az útburkolatok állapotának felmérése új vizsgálati módszerek segítségével”, o. 23, 2017.
- [10] Vásárhelyi Boldizsár, *Útépítéstan*. Budapest: Tankönyvkiadó, 1951.
- [11] Kiss Béla és Krebsz Anna, „Valószínűség-számítás és matematikai statisztika”. 2006.
- [12] Havancsák Károly, *Mérési adatok kezelése és értékelése*. Typotex, 2012.



Gyroscope compensated accelerometer sensor vehicle trajectory measurement

The presentation of an improved method of accelerometer based distance measurement for the production of vehicle trajectories indicates that in reality, due to the road layout and surface defects, the inclination angle of the instrument changes continuously, which affects the final result of the measurement. It can be assessed what method can be used to solve this problem, and we get an idea of the accuracy and reliability of the measurement method through the analysis of the data measured during field experiments. The significance of the measurement method is that it can be used to measure distances with an acceleration sensor in any road conditions.



Messung der Fahrzeugtrajektorien mit der Hilfe von kreiselkompensierten Beschleunigungssensor

Die Vorstellung eines verbesserten Verfahrens zur Entfernungsmessung mit Beschleunigungsmessern zur Erzeugung von Fahrzeugtrajektorien zeigt, dass sich der Neigungswinkel des Instruments in der Realität aufgrund der Linienführung der Strasse und ihrer Oberflächenfehler kontinuierlich ändert, was sich auf das Endergebnis der Messung auswirkt. Es kann festgestellt werden, mit welcher Methode dieses Problem gelöst werden kann, und durch die Analyse der während des Feldversuchs gemessenen Daten können wir uns ein Bild über die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messmethode erstellen. Die Bedeutung der Messmethode besteht darin, dass die Entfernung mit einem Beschleunigungssensor unter allen Straßenbedingungen und -Verhältnissen gemessen werden kann.

1951 70 év 2020



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN