

A CAF alacsonypadlós közúti vasúti jármű futástechnikai vizsgálata kitérőkben okostelefonok szenzoradatainak alkalmazásával

Gonda Evelyn, Csikós Attila, Dr. Vinkó Ákos

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út és Vasútépítési Tanszék
telefon: 06 70 202 0071

e-mail: evelyn.gonda94@gmail.com, att.csikos@gmail.com, vinko.akos@epito.bme.hu

Kivonat: A közúti vasúti üzemben utazó álló utasokat jelentős többlet-igénybevétel érheti kis sugarú pálya ívekben és kitérőkben. Az utazási komfort szempontjából mértékadó paraméterek határértékei (a_0 oldalgyorsulás és h oldalgyorsulás-változás) azonban a jelenlegi szabályozásban nincsenek alátámasztva a Budapesten üzemeltetett közúti vasúti járművek, mérésrel meghatározott mozgásgeometriai viselkedésének statisztikai vizsgálatával. A kutatás célja a különböző ívelrendezéseken járműáthaladáskor tapasztalható mozgásgeometriai jellemzők tényleges meghatározása gyorsulás-mérésre alkalmas okostelefonokkal. A kocsiszekrény függőleges tengely körüli elfordulása és a mért oldalgyorsulás alapján meghatároztuk a hagyományos forgóvázaz, csuklós és ún. multicuklós járművek keresztirányú utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszeteit. A járműtípusok összehasonlítása során egyértelműen kimutattuk, hogy a modern multicuklós járművek a mértékadóak futástechnikai szempontból, emiatt részletes futásjósági és utazási komfort vizsgálatuk szükségeszerű.

Kulcsszavak: okostelefon, inerciális szenzor, közúti vasúti kitérő, CAF villamos, mozgásgeometria

Bevezetés

Az utazási komfort szempontjából mértékadó paraméterek határértékei (a_0 kiegyenlített szabad oldalgyorsulás és h oldalgyorsulás-változás) a hatályos hazai előírásokban nincsenek alátámasztva a Budapesten üzemeltetett közúti vasúti járművek, mérésrel meghatározott mozgás-geometriai viselkedésének statisztikai vizsgálatával. Célom a kitérők eltérítő ágán és a hozzájuk csatlakozó íveken járműáthaladáskor tapasztalható keresztirányú mozgásgeometriai jellemzők (a_0 , h) tényleges meghatározása gyorsulásmérésre alkalmas okostelefonokkal. A jármű kinematikai mozgásjellemzőinek mérésére egy telefonos applikációt fejlesztettünk, amely alkalmas a telefon összes szenzoradatának és a GPS helyadatoknak az időalapú szinkronizált rögzítésére. A szolgáltatott adatok validálása során a telefonok mért adatainak valós fizikai tartalmát ellenőriztem ismert szöghelyzet, elfordulás és pozíció esetén. A vizsgált szenzoradatok (gyorsulásmérő, dőlésmérő, giroszkóp) nagy pontossággal visszaadták a fizikából jól ismert alap törvényszerűségeket. A Budapesten üzemeltetett közúti vasúti járművek közül a CAF Urbos3 típusú modern villamosok futási tulajdonságait vizsgáltam kiváló műszaki állapotú „Ph” rendszerű kitérőkön való áthaladás esetén. A vizsgált kitérők eltérítő ágán és a csatlakozó pályáíveiken való áthaladáskor jellemző járműreakció vizsgálata előtt meghatároztam a 3 és az 5 modulus CAF járművek keresztirányú utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszetét, ennek ismeretében a kitérőméréseket már csak a mértékadó járműkeresztmetszetben végeztem el.

A kutatómunka során vizsgáltuk a mért és a közelítő képletekkel becsült oldalgyorsulás adatok eltéréseit, valamint összevettem a mért adatokat a hatályos szabványokban meghatározott kvázi-statisztikus határértékekkel. A fentieken túlmenően rámutattunk a vizsgált jármű ívérzékelésének sajátosságaira és összegyűjtöttük a különböző szerkezeti és geometriai kialakítású vályús sínes kitérők esetén rögzített gyorsulás jelalakok jellegzetességeit is.

1. A kinematikai mozgásjellemzőkre vonatkozó hatályos hazai, uniós és külföldi előírások közúti vasúti alkalmazásának korlátai

A pályatervezési előírásokat tekintve a megkívánt tervezési sebességhez tartozó átmeneti ív és minimális ívsugar paraméterek megadása a kvázi-statisztikus oldalgyorsulás-változás megengedett értékétől függ. Közúti vasúton, a járművön álló utasoknak is a legjobb utazási komfortot kell biztosítani, ebből a

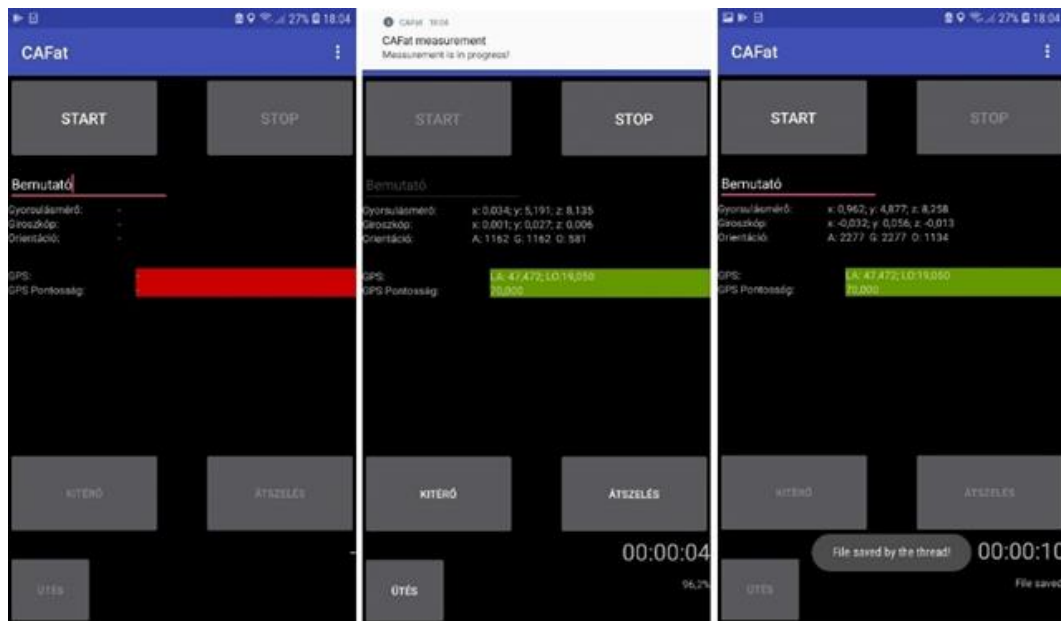
feltételből a minél szigorúbb, kisebb h-vektor érték következik. Ha nagyon szigorú a h-vektor értéke, akkor nagy átmeneti ívhosszakot kell betervezni, ami közúti vasúton nem minden esetben fér el a kötöttségek és a rendelkezésre álló szűk hely miatt. Ilyenkor vagy a tervezési sebesség csökkentése mellett döntenek a tervezők (ami utazási komfort szempontjából nem javasolt), vagy felmentést kérnek a hatóságtól. A hazai közúti vasúti pályatervezési előírásokban (OVSZ, „Sárga könyv”) ugyan van határérték a kinematikai mozgásjellemzőkre, azonban ezek nem határozzák meg azok pontos mérési körülményeit és az adatfeldolgozási módszereket sem.

Az uniós előírások közül fontos megemlíteni az EN 12299:2009 szabványt [], ahol tisztázott a mérés folyamata, helye és a kiértékelés módja is. A szabvány kiter a jármű mértékadó keresztmetszetének meghatározási módszerére és a mérés magassági pozíciójára (ülő, vagy álló utas esetében mért pontok) is. Fontos megjegyezni, hogy a fenti szabványban leírt mérési feltételek csak nagyvasúti járművek esetén lettek validálva. A közúti vasúti járművek nagyvasúttól eltérő sajátosságai miatt csak iránymutatásként alkalmazhatók a szabványban megfogalmazott kritériumok, azok közúti vasúti alkalmazhatóságát vizsgálni kell! A fentieken túlmenően a kinematikai mozgásjellemzők határértékeinek pontosabb megállapításához célszerű lenne a Budapesten közlekedő összes jármű méréssel meghatározott futásjellemzőinek a figyelembevétele is.

2. A jármű kinematikai mozgásjellemzőinek alkalmazott mérési módszere

2.1 A mérő applikáció bemutatása

Napjainkban, a középkategóriás okostelefonokban szenzorok sokasága megtalálható (többek között a gyorsulásmérő, giroszkóp, dőlésmérő), melyek adatait a kinematikai mozgásjellemzők méréséhez is fel lehet használni. A szenzoradatok rögzítéséhez szükséges volt egy jól megtervezett adatlekérő szoftver, a CAFat applikáció, amelyet Csikós Attila szoftverfejlesztő közreműködésével dolgoztam ki. A CAFat-ba számos felhasználást könnyítő funkció is bekerült a mérések rögzítése mellett. Küllemét tekintve a lehető legegyszerűbb kinézetre törekedtünk (1. kép).



1. ábra: A CAFat mérőprogram működéséről készült képernyőfelvétel
(a.) a program indítása előtt, b.) mérés közben c.) fájl mentésekor

Szolgáltatott adatok egy *.csv fájlban kerülnek kiírásra, a mért paraméterek az alábbiakban kerülnek felsorolásra:

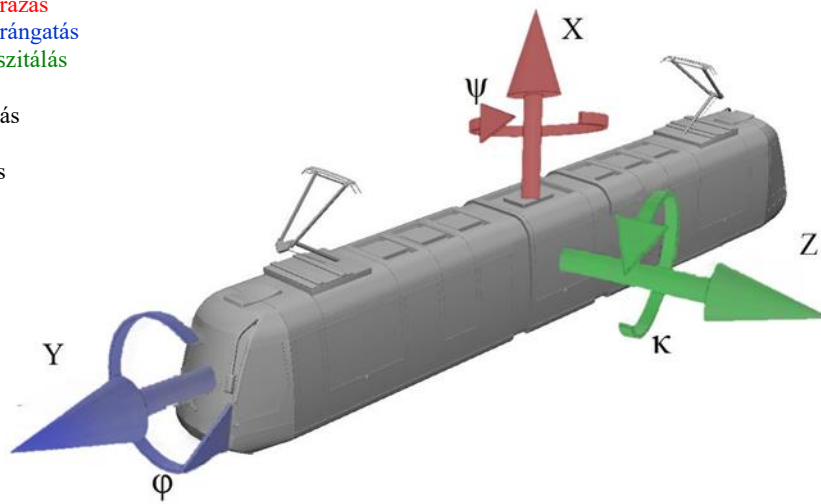
- **A mérés kezdetétől eltelt idő.**
- **Járműsebesség [m/s]**, mely adott időpontban a GPS adatokból meghatározott pillanatnyi sebességet mutatja.
- **A földrajzi szélesség és hosszúság**, melyek alapján földrajzi koordináta rendszerben megkapjuk a mérés helyét.
- **A GPS helyadatok meghatározásának pontossága [m].**

- **A három mérési tengelyhez tartozó gyorsulás adatok** [m/s^2]. Jelen kutatómunkában az oldalgyorsulás, vagyis a keresztirányú komfortérzet fő befolyásoló tényezőjének kimutatásában nyújt segítséget.
- **Az orientációs adatok** [$^\circ$] (továbbiakban Dőlésmérő): a telefon térbeli elfordulását mutatják a mágneses északhoz és a gravitációs vektorhoz képest.
- **A háromtengelyű giroszkóp adatai** [rad/s] Az orientációhoz hasonlóan a kötöttpályás közlekedés kinematikai vizsgálatánál, az ívviszonyok illetve a túlemelés kimutatásánál nyújt segítséget.
- A **markerezés**, mely a mérő applikáció beépített gombjainak adott időhöz tartozó megnyomásakor megjelenő információk helyei.

A 2. ábra a mérési irányokat és a rajtuk azonosítható szabálytalan járműmozgásokat szemlélteti.

X tengely: rázás
Y tengely: rángatás
Z tengely: szitálás

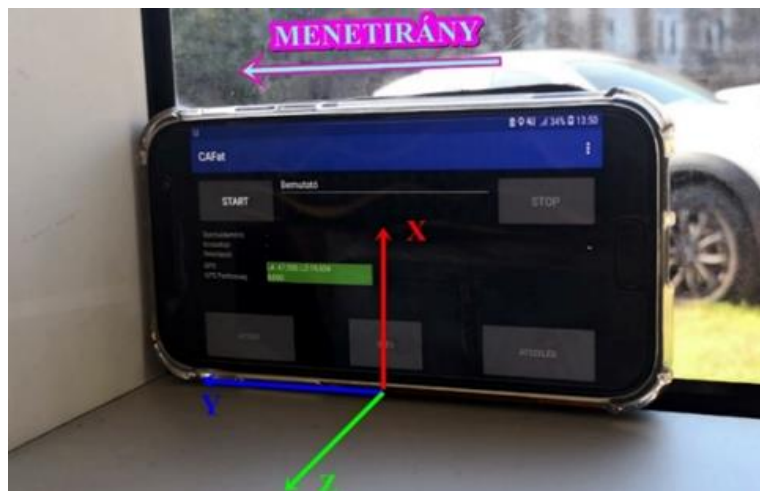
φ : támolgás
 κ : bőlintás
 ψ : kigyózás



2. ábra: CAFat applikáció mérési tengelyeinek értelmezése és a szabálytalan járműfutás kapcsolata

2.2 Mérés elrendezése

Az okostelefonokban lévő szenzorok tengelyelrendezése teleföntípustól független, szabványosított elrendezés. A gyorsulásmérő, mágneses iránytű és a giroszkóp alkalmasak a térbeli mozgás leírására (3 mérési tengely) és a mérési tengelyek jobb kezes koordináta rendszert követnek. A tengelyek pontos elhelyezkedését a 2. ábrán láthatjuk. Ezen tengelyek körüli elfordulások pozitív irányát is a jobbkéz szabály határozza meg. A mérések során a telefont a hosszú oldalával fektetve helyeztem a kocsiszekrény falára úgy, hogy az y-tengely pozitív iránya megegyezzen a menetiránnyal. A mérések túlnyomó részében egy szilikon pad segítségével rögzítettem a jármű ablakához a készüléket, ezzel elkerülhetővé vált, hogy emberi hiba által rögzített mozgás rossz eredményt adjon.



3. ábra: Célszerű mérési elrendezés a CAF villamos ablakának alsó sarkában (gumipaddal rögzítve)

2.3 A mért és szolgáltatott paraméterek értelmezése

Kiemelt példaként a giroszkóp és az oldalgyorsulás adatainak kapcsolatát részletezem, ez a kapcsolat a kiértékelésem szerves részét képezte.

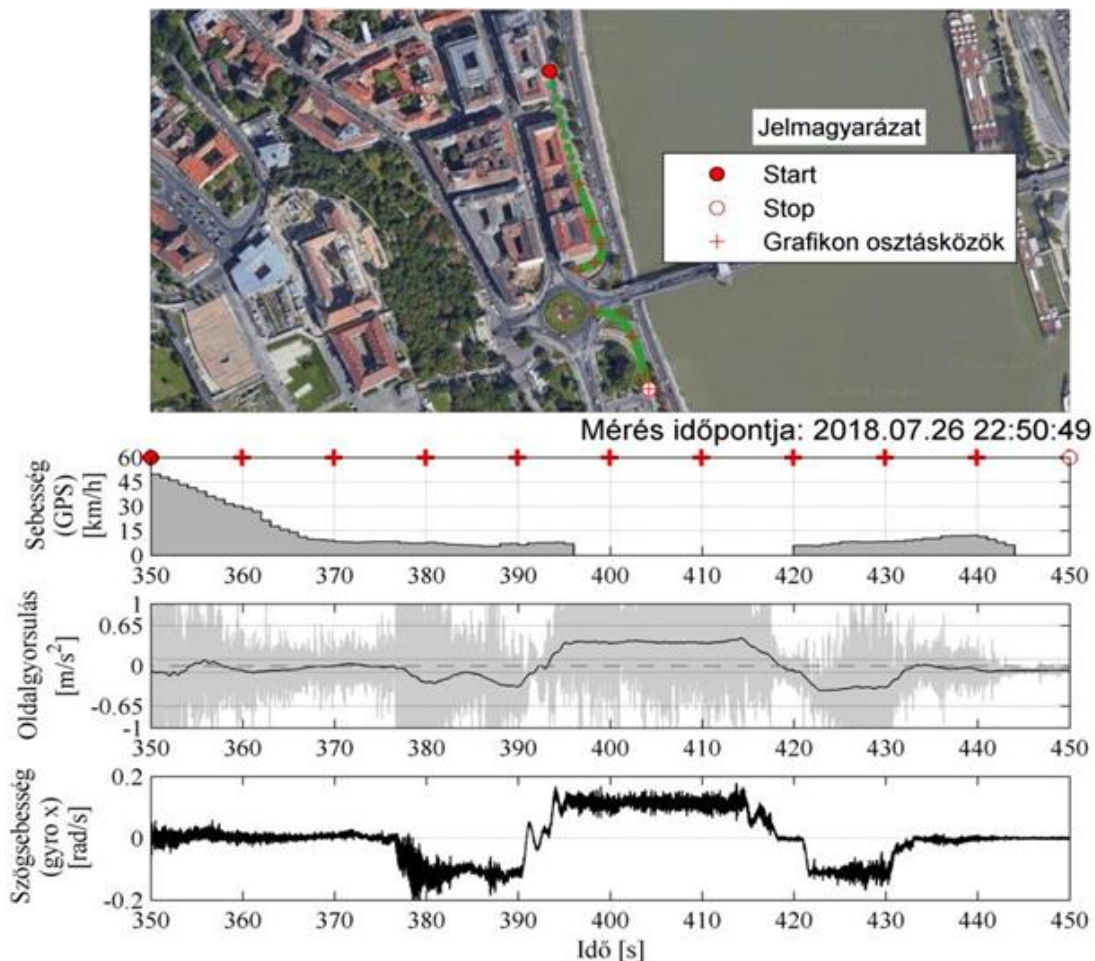
Oldalgyorsulás és giroszkóp adatok kapcsolata [5]

A 3. ábra az oldalgyorsulás és a giroszkóp adatokat hasonlítja össze. A felső diagram a jármű sebességét, a középső a nyers (szürke) és az ívviszonyokat jellemző szűrt oldalgyorsulás komponensét (fekete), míg az alsó a szűrés nélküli giroszkóp adatot ábrázolja. A mérés során egy CAF Urbos3, 5 modulós villamos jobb hátsó ablakánál végzett mérés látható a Lánchíd alagútban. Az oldalgyorsulás és giroszkóp adatok láthatóan jól hasonlítanak (3. ábra 2. és 3. grafikon), melynek oka, hogy a giroszkóp által szolgáltatott adatokból, a (1) összefüggés alapján számolható az oldalgyorsulás.

$$a_0 = v \cdot \omega = v \cdot \frac{v}{R} = \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

ahol a_0 [m/s²]: oldalgyorsulás,
 v [m/s]: mért járműsebesség,
 ω [rad/s]: szögsebesség,
 R [m]: ívsugár,

Fontos megjegyezni, hogy a (1) összefüggés csak túlemelés nélküli pályaszakaszon és állandó járműsebesség mellett alkalmazható eredményesen.



4. ábra: Az oldalgyorsulás és a giroszkóp adatok kapcsolata (CAF villamoson - Samsung Galaxy S8 készülékkel mérve)

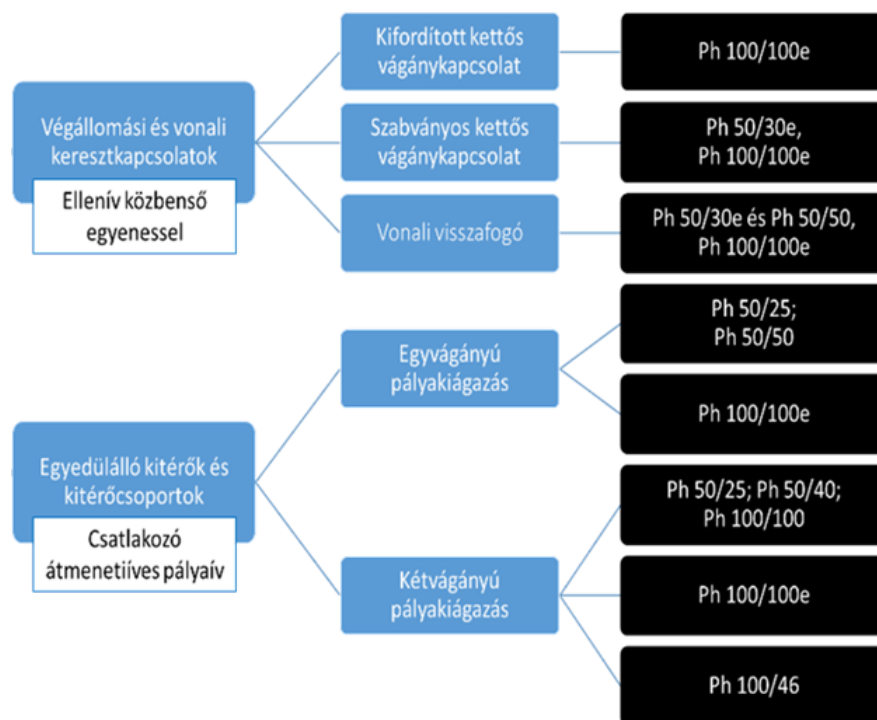
3. A vizsgált jármű utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszetének meghatározása

Budapesten a jelenleg üzemszerűen közlekedő járműpark nem tekinthető homogénnek, illetve az OVSZ (Országos Vasúti Szabályzat) sem tér ki arra, hogy a kinematikai mozgásjellemzőket a jármű kocsiszekrényén belül pontosan hol kellene értelmezni. A gyakorlatban alkalmazott közelítő képletekben a jármű tömegközéppontjában értelmezzük őket. A mozgásjellemző vektorok értékei azonban a súlyponttól távolodva jelentősen változhatnak. Különösen igaz ez az állítás a multicuklós járművek esetén, ahol a „forgóvázak” és a járműszekrények között elhelyezett csuklók konzolosan kapcsolódnak egymáshoz. Ez a szerkezeti kialakítás jelentős többlet igénybevételt jelent a pálya számára, így a vizsgálatok során egy új beszerzésű multicuklós villamos, a CAF Urbos3 típusú jármű futási tulajdonságait vizsgáltam. Jelenleg 35 darab rövid, 5 modulos és 12 darab hosszú, 9 modulos CAF villamos közlekedik Budapesten. Ezek a járművek befüggesztett (hajtás nélküli) és hajtott kocsiszekrényrészekből állnak, ugyanakkor minden kerék hajtott és egymástól függetlenül képesek ívben, kis mértékben sugárirányba befordulni. A vizsgálatok során az elsődleges cél az utazási komfortérzet meghatározása volt, ezért a járművön belüli mérési keresztmetszetek kiválasztásakor az utasok lehetséges szélső helyzete volt a mértékadó. A kritikus keresztmetszet meghatározása során, egy járművön, egy időben, több keresztmetszetben, a hálózaton, több helyen végeztünk méréseket. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a jármű eleje, vagy vége a mértékadó keresztmetszet és a kitérőméréseket már csak ebben a mérési keresztmetszetben végeztem el.

4. Kitérőcsoportok, vágánykapcsolások és csatlakozó pályaívek mozgásgeometriai vizsgálata

4.1 A mérési és vizsgálati helyszínek kiválasztásának szempontjai

Jelen kutatómunkában csak a CAF típusú villamosok által üzemszerűen járt Phoenix típusú kitérőkkel foglalkoztam.



4. ábra: A vizsgálati helyszínek csoportosítása

A vizsgált kitérők kiválasztása során (4. ábra) igyekeztem minden járatos típust figyelembe venni. A különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők összehasonlítása során az elsődleges szempont a szabálytalan járműmozgás (oldalirányú lökések és keresztirányú lengések) mértékének számszerűsítése és a kitérő paramétereivel való kapcsolat keresése volt.

4.2 Mérések kiértékelése

Az oldalgyorsulás kiértékelése során a mért és a (2) közelítő képlettel számolt értékek eltérését vizsgáltam.

$$a_0 = \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

ahol: a_0 : kiegyenlített szabad oldalgyorsulás [m/s²]
 v : a mérés során rögzített járműsebesség [m/s]
 R : körívsugár [m] (kitérők esetében Rk1 és Rk2 jelölése)

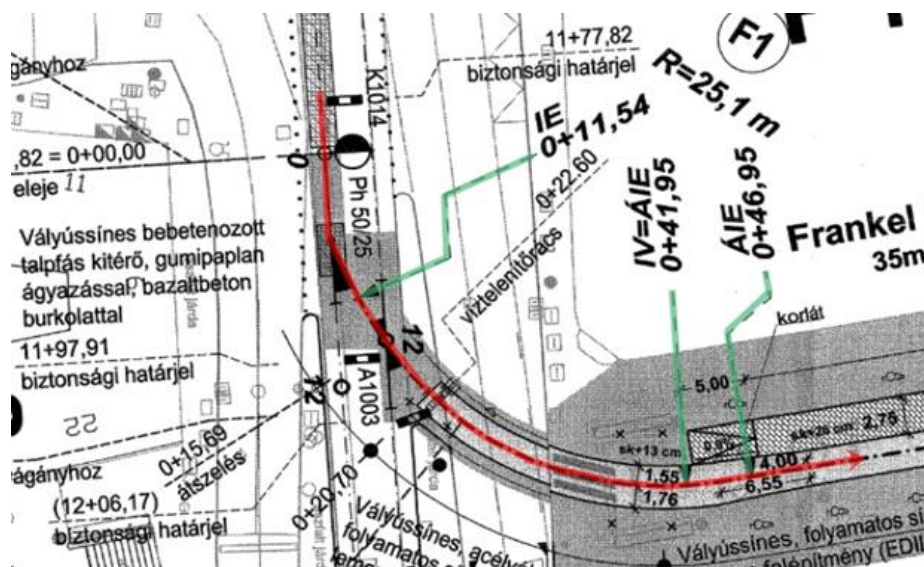
Abban az esetben, ha az eltérés nem haladta meg a 20%-ot úgy megfelelő az oldalgyorsulások eltérése, melyet zöld színnel emeltem ki. Ha minimálisan lépte túl, azt sárgával emeltem ki, míg ha a többszöröse a 20%-os eltérésnek, azt piros kiemeléssel jeleztem az **5/2. ábrán** látható kiértékelési táblázatban. Az oldalgyorsulás változás esetében a BKV Zrt. által használt „Sárga könyv” határértékeit vettem alapul, ehhez hasonlítottam a mért értékeimet (**1. táblázat**).

1. táblázat: A "Sárga könyv" alkalmazott határértékei

$h=0,40 \text{ m/s}^3$	pályaívekben és folyópályában megengedett legnagyobb érték
$h=0,80 \text{ m/s}^3$	kitérőben megengedett legnagyobb érték

A **2. táblázatban** pedig az alkalmazott adatfeldolgozási módszert, a szűrők és mozgóátlagok paramétereit mutatom be. Az **5/1. ábrán** láthatók a mérés körülményei, a vizsgált helyszín geometriai adatai, az egyes elemekhez tartozó szelvénytípusok, illetve a helyszínrajz. Az **5/2. ábra** esetében pedig a C2 jelű modulban rögzített és számított adatokat mutatom be részletesen, az iterációs folyamat segítségével pedig, az **5/2. ábra második grafikonján** látható feltételezésem kívánom igazolni. Az **5/2. ábrán** láthatók a vizsgált szakasz egyes geometriai elemei szerinti szakaszokra bontása, a kitérő elhelyezkedése, illetve a **2. táblázatban** meghatározott módszer szerinti mozgásgeometriai jellemzők grafikonjai. Sorrendben haladva a következő adatokat ábrázolva: *járműsebesség*, *görbületi függvény* (elméleti-fekete, felvett-zöld szaggatott), *oldalgyorsulás* (gyorsulásmérőből-piros, giroszkópból-fekete, számított-kék) és *oldalgyorsulás változás* (gyorsulásmérőből-piros, giroszkópból-fekete).

A mozgásérzékelő hossz megállapítása során a **2. táblázatban** látható kiértékelési módszert alkalmaztam, illetve a **(3.1) összefüggést**. A szakaszhatárok kijelölésekor a kitérőn és a hozzá csatlakozó pályaíven áthaladáskor rögzített legnagyobb sebességet vettem alapul, majd az egyes geometriai elemek hosszát ismerve számoltam az áthaladásukhoz szükséges időtartamot másodpercben, ennek segítségével pedig előállítottam az időalapú görbületfüggvényét a mérésemnek.



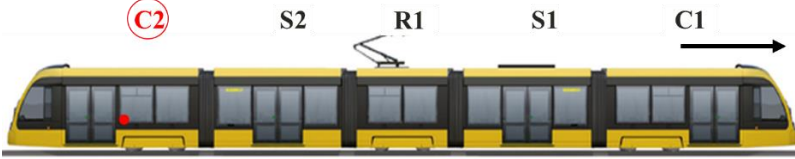
4. ábra: 17-es villamos, Margit híd, budai hídfő, VPh50/25 vonali kiágazó kitérő és csatlakozó átmenetiíves pályaív vizsgálata (CAF Urbos3, 5 modulós, 2219)

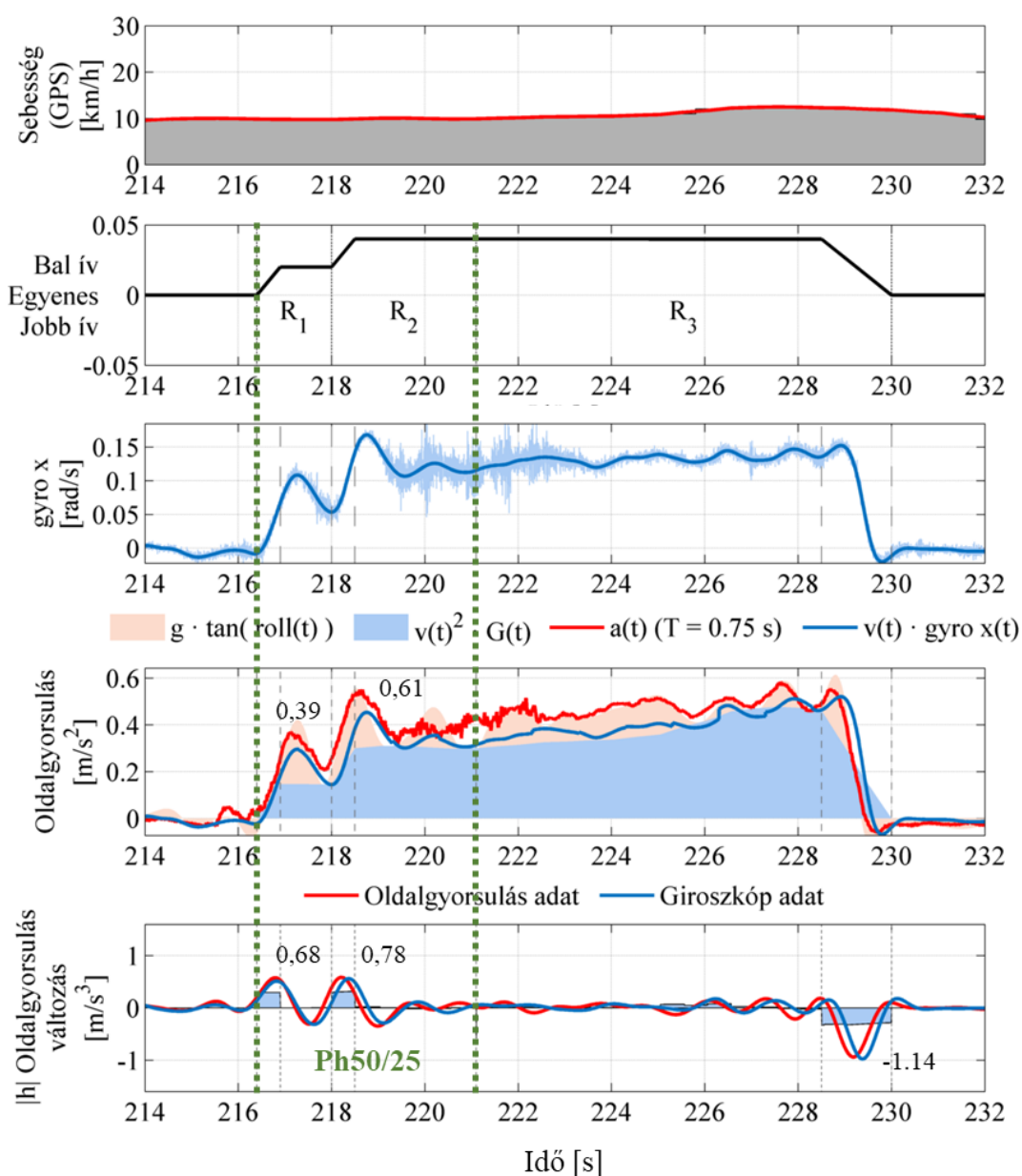
2. táblázat: Az alkalmazott kiértékelési módszer paraméterei

<u>SEBESSÉG adatok „simítása”</u> A GPS sebesség adatok ugrása miatt kialakuló lépcsőzetes jelalak simítása szükséges T=1,5 s ablakszélességű mozgóátlag alkalmazásával: v [m/s]	<u>GIROSKÓP</u> A jármű függőleges tengely körüli szögsebességet jellemző giroszkóp esetében a zajok leszűrése, 2 Hz-es alul áteresztő szűrővel (EN 12299): $gyro_{x,LPF}$ [rad/s]
<u>OLDALGYORSULÁS</u> A rögzített nyers oldalgyorsulás adatok esetében mozgóátlagolást alkalmaztam, melynek időköze: T=0,5 s A már szűrt giroszkópból pedig oldalgyorsulást számoltam: $a_{gyro} = v \cdot gyro_{x,LPF} \quad (2)$ ahol: a_{gyro}: a szűrt giroszkóp adatokból számított oldalgyorsulás [m/s²] v: a mozgóátlagolt sebesség [m/s] $gyro_{x,LPF}$: az aluláteresztő szűrt x-tengelyű giroszkóp [rad/s]	
<u>OLDALGYORSULÁS - VÁLTOZÁS</u> Numerikus deriválás segítségével számítottam az oldalgyorsulás változást a már előzetesen mozgóátlagolt oldalgyorsulásból, illetve a giroszkópból származó oldalgyorsulásból is a (5.2) összefüggés szerint. $h_{acc} = \frac{da_0}{dt} \quad (2)$ ahol: h_{acc} a (5.3) összefüggés szerint meghatározott, mért oldalgyorsulás idő szerinti deriváltjából származó oldalgyorsulás-változás [m/s³] a_0: a készülékkel rögzített, mozgóátlagolt oldalgyorsulás [m/s²] $h_{gyro} = \frac{da_{gyro}}{dt} \quad (2)$ ahol h_{gyro}: a (5.4) összefüggés szerint meghatározott oldalgyorsulás-változás, az (5.2) összefüggés szerint a_{gyro}: az (5.2) összefüggés segítségével meghatározott oldalgyorsulás Majd a kapott értékeket (azok zajossága miatt) szintén mozgóátlagoltam, mely esetében a T=0,5 s mozgóátlagot alkalmaztam.	

Ez után az egyes szakaszokon található, giroszkópból származó oldalgyorsulás maximumát határoztam meg, ezzel vettem össze a számított oldalgyorsulás maximumát (melyet már a **(3.1) összefüggés** felhasználásával számoltam és ábrázoltam). Ezzel az iterációs folyamattal bizonyítottam, hogy a **5. ábrán** látható mérés esetén a jármű mozgásérzékelő hossza a C2 modul esetében 1,8 méternek felel meg, amely a tengelytávolság. Az egyes szakaszokon található eltérések a nem egyenletes sebességből adódtak. Az oldalgyorsulást ábrázoló grafikonon látható a **(3.1) összefüggés** szerint számított oldalgyorsulás (kék). Melyet ezen az ábrán az egyes geometriai elemek határainak szemléltetése céljából jelöltem. Az oldalgyorsulás-változást ábrázoló grafikonon látható, hogy hol helyezkednek el a görbületváltozások helyek, melyek esetében a „Sárga könyv” értékeit vettem alapul és az annak való megfelelést vizsgáltam. Látható, hogy az értékek néhány esetben lépik át a 20%-os eltérést a számítottéhoz képest, ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a gyorsulásmérőből származó és a giroszkópból származó grafikonok jól közelítik egymást a C2 jelű modulban.

3. táblázat: 17-es villamos, Margit hid, budai hídfő, VPh50/25 vonali kiágazó kitérő és csatlakozó átmenetiíves pályáiv vizsgálata a CAF (2219) jármű C2 moduljában

						
Szakasz- határ [s]	Ph50/25				Ív.	Áív
	216.4 - 216.9	216.9 - 218.0	218.0 - 218.5	218.5 - 221.1	221.1 - 228.5	228.5 - 230.0
R [m]	50,0		25,0		25,1	
v [m/s]	3,23	3,27	3,33	3,90	3,66	3,58
Oldalgyorsulás adatok [m/s ²]						
mért:	0.265	0.217	0.433	0.328	0.414	0.101
számított (5):	0.074	0.146	0.222	0.304	0.381	0.227
eltérés:	36.27%	0.88%	2.51%	8.70%	2.55%	1.38%



5. Összefoglalás

5.1 Mérési eredményeket befolyásoló tényezők:

A pálya-jármű rendszer műszaki állapota és szerkezeti kialakítása

A vizsgálati helyszínénél fontos szempont volt a jó műszaki állapot, hiszen avult pálya esetén a fellépő járulékos többlet-igénybevételek jelentősen torzíthatják a hasznos gyorsulás jelet.

A jármű ívekben való behaladásakor a kétoldali gumirugók (jármű-felfüggesztés) eltérő aszimmetrikus összenyomódása miatt a kocsiszekrény az ív irányultságának megfelelően bedől. Ez a hatás az aktuális sebesség függvényében jelentősen növelheti a mért oldalgyorsulás adatokat.

Közelítő képlet alkalmazhatósági korlátai [11]

A gyakorlatban alkalmazott közelítő képletek jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak. A járművet tömegpontként, a vasúti pályát pedig térgörbéként jellemzik. A jármű súlypontpályája eltér a vágánytengely tényleges vonalvezetésétől. Különösen jelentős ez az eltérés kis sugarú ($R < 40$ m), átmeneti ív nélküli pályáívek esetén. A szabad oldalgyorsulás közelítő képletében a változó sebesség figyelembe vehető, de a jármű ívérzékelését jelentősen befolyásoló mozgásérzékelő hosszt nem tartalmazza. A közelítő képlet nem veszi figyelembe a járműdinamikai jellemzőket, sem azt, hogy jármű melyik pontjában végeztem a mérést.

5.2 Kitérő vizsgálatok tapasztalatai

Az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál fellépő dinamikus oldalgyorsulás-változás összevetése a szabványokban meghatározott kvázi statikus határértékekkel [12]

A közúti vasúti pályatervezési előírásokat tekintve a megkívánt tervezési sebességhez tartozó átmenetiív és minimális ívsugar paraméterek megadása az oldalgyorsulás-változás megengedett értékétől függ. A már nem hatályos EN 13803 - 2:2006 szabvány figyelembe veszi az egyenes és körív közvetlen csatlakozásából („ugrásos” görbületváltozás) adódó tranziens értékeket is.

Az általam elvégzett mérések alapján megállapítható, hogy a tranziens hatás elhanyagolása miatt az – egyébként tervezéshez használt – Sárga könyv csak korlátozottan alkalmas a pályáívek mérések alapján történő utólagos megfelelőségi besorolásához.

A rögzített gyorsulás jelalak kiugró értékeinek és jellegzetességeinek vizsgálata különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők esetén

Az elvégzett és kiértékelt mérések esetében a kiugró értékek és a végérintő szögek összefüggésének tekintetében megállapítottam, hogy:

- Állandó mérési sebesség mellett a Ph 50/25 (20-36-37) és a Ph 50/40 (16-24-25) típusú kitérőkön egyértelműen beazonosítható a kitérőbe való behaladásakor a szabálytalan, kígyózó jellegű járműmozgás,
- A Ph 50/30e (14-48-14) típusú kitérőt végállomási kettős vágány-kapcsolatban vizsgáltam. Elleníves ágon történő haladás esetén a közbenső egyenesnél jelentős kiugró értékeket tapasztaltam. Vélhetően a rövid közbenső egyenes a nagy végérintőszög és kis sugar együttesen okozza ebben az esetben a szabálytalan járműfutást
- Ph 50/50 (14-48-14) típusú kitérők esetén már csak minimálisan jelenik meg a kígyózó mozgás a kitérőbe való behaladásakor,
- A Ph 100/46 (14-48-14), Ph 100/100 (12-00-00) és a Ph 100/100e (8-37-00) esetében már nem figyelhető meg a kígyózó mozgás a kitérőbe való behaladásakor,

A vizsgálataim alapján megállapítható, hogy nagy végérintő szögű és kis sugarú kitérők esetén a kígyózó jellegű szabálytalan járműmozgás minden esetben megfigyelhető volt, a kisebb végérintőszögű és nagyobb sugarú kitérők esetén ez a kígyózó jellegű járműmozgás csökkent, míg a Ph 100/100e kitérő esetén szinte teljesen megszűnt.

Irodalomjegyzék

- [1] ENV12299, „Railway applications - Ride comfort for passengers -Measurement and evaluation,” in ENV Code 12299, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 1997.
- [2] MSZEN12299:2009, MSZ EN 12299:2009, Brussels: European Committee for Standardization, 2009.
- [3] F. Dr. Horváth, „Vasútépítés és pályafenntartás II. kötet,” in Korszerű vasút- Korszerű vasúttechnika, Budapest, Magyar Államvasutak Rt., 1999.
- [4] B. K. R. BKV Zrt., Közúti vasúti pályaeépítési és fenntartási műszaki adatok és előadások, Budapest: Fővárosi Közlekedési Felügyelet, 2007.
- [5] K. Academy, „Uniform circular motion and centripetal acceleration review,” [Online]. Available: <https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-centripetal-force-and-gravitation/introduction-to-uniform-circular-motion-ap/a/circular-motion-basics-ap1>.
- [6] V. Gáspár, Közúti vasúti pályáívek közelítő kinematikai vizsgálata különös tekintettel az egyes járművek eltérő szerkezeti tulajdonságaira és a megengedhető maximális igénybevételekre, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem: Út- és Vasútépítési Tanszék, 2017.
- [7] CAF, „BUDAPEST TRAM,” 2018. [Online]. Available: <https://www.caf.net/en/productos-servicios/proyectos/proyecto-detalle.php?p=268>.
- [8] BKK, „FRISSÍTVE! 37 helyett 47 darab új villamos érkezik Budapestre,” 3 március 2014. [Online]. Available: <https://bkk.hu/2014/03/ujvillamosok/>.
- [9] G. Mészáros, „Lejebb a padlóval! I-VI. rész,” 24. július 2011. [Online]. Available: <http://iho.hu/hir/az-alacsonypadlos-villamosok-kialakulasa-es-tortenete-i>.
- [10] G. Tóth, Phoenix sínekkel készült közúti vasúti kitérő tervezése, Budapest: Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Út- és Vasútépítési Tanszék, 2014.
- [11] R. Németh, A közúti vasúti pályatervezési előírások mozgásgeometria vizsgálatára Ganz ipari csuklós villamoson rendszeresített inerciális mérőrendszer alkalmazásával, Győr: Széchenyi István Egyetem: Építész-, Építő és Közlekedésmérnöki Kar, 2018.
- [12] EN13803-2:2006, Switches and crossings and comparable alignment design situations with abrupt changes of curvature, %1. kötetPart 2, London: British Standards Institution, 2006.