



Közúti vasúti kitérők és vágánykapcsolatok járműfutástechnikai vizsgálata a kocsiszekrényen rögzített okostelefonok szenzoradatainak alkalmazásával

MAÚT közgyűlés, 2020 július 03

Gonda Evelyn

Konzulensek: Dr. Vinkó Ákos, adjunktus, BME Út és Vasútépítési Tanszék
Előhegyi Zoltán, osztályvezető, VAMAV Vasúti Berendezések Kft.



Tartalom

- **Témaválasztás indoklása, célkitűzések**
- **Alkalmazott mérési módszer**
 - Alkalmazott szenzorok és minimális rendszerkövetelményeik
 - Új fejlesztésű mérőprogram „CAFat”
 - Mérést befolyásoló tényezők és a mérőrendszer kalibráció
- **Módszertan**
 - A vizsgált jármű
 - A vizsgált jármű hossza mentén a mértékadó keresztmetszet meghatározása
 - Jármű futásvizsgálat kitérőkben és csatlakozó pályaíveken
- **Kitérő és csatlakozó pályaívek vizsgálati helyszínei**
- **Mérések kiértékelése**
- **Tapasztalatok összefoglalása**
- **További kutatási lehetőségek**

Témaválasztás indoklása, célkitűzések

Bécsi út/Vörösvári út

Bécsi út/Vörösvári út

Savoya Park

Etele út/Fehérvári út

Déli Pályaudvar M

Déli Pályaudvar M

Bécsi út/Vörösvári út

Móricz Zsigmond Körtér M

Újbuda-központ M

Nagyvásár

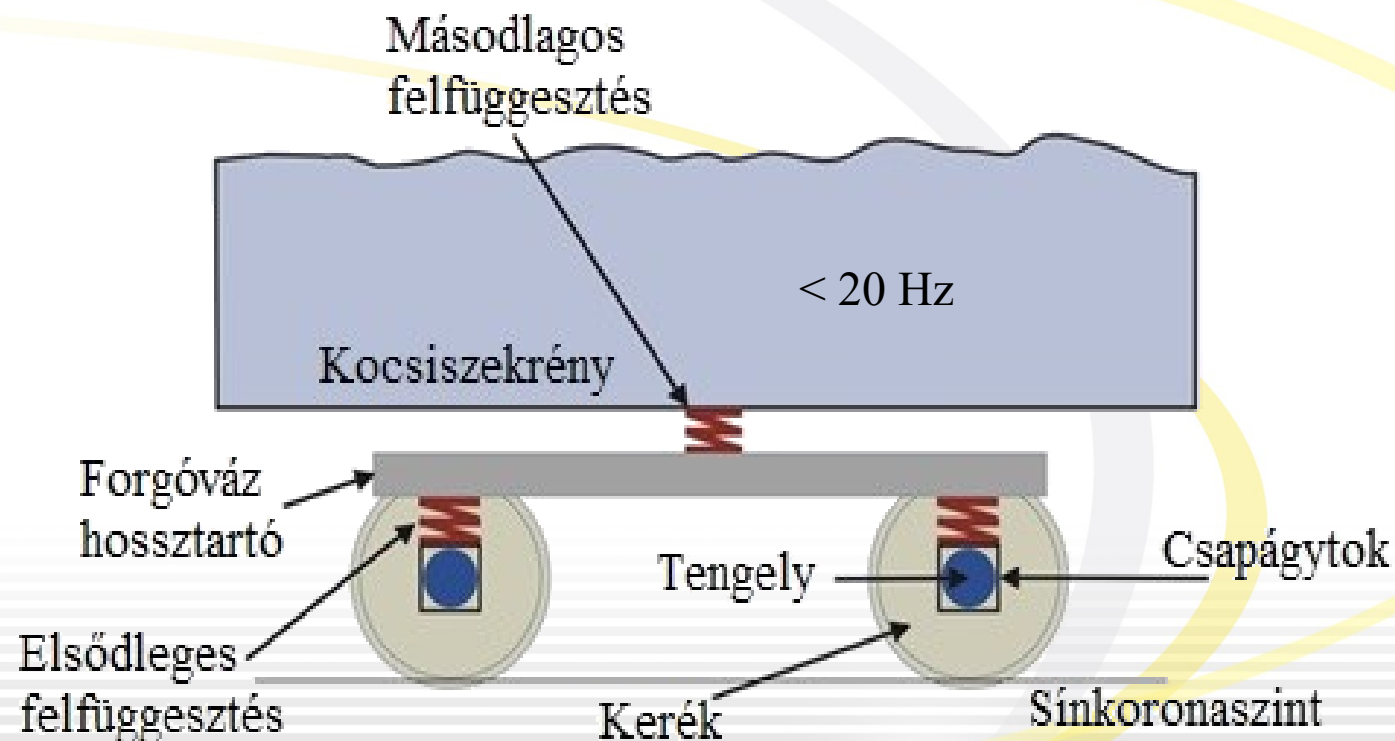
Témaválasztás indoklása, célkitűzések

1. A **keresztirányú utazási komfort** megítélése a kocsiszekrényen mért oldalgyorsulás és egy 3 tengelyű giroszkóp szögsebesség adatai alapján;
2. A **mért és a közelítő képletekkel** becsült oldalgyorsulás adatok összevetése;
3. Az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál fellépő „dinamikus oldalgyorsulás-változás” összevetése a szabványokban meghatározott kvázi-statisztikus határértékekkel;
4. A rögzített gyorsulás jelalak kiugró értékeinek és jellegzetességeinek vizsgálata különböző szerkezeti és geometriai kialakítású kitérők esetén.



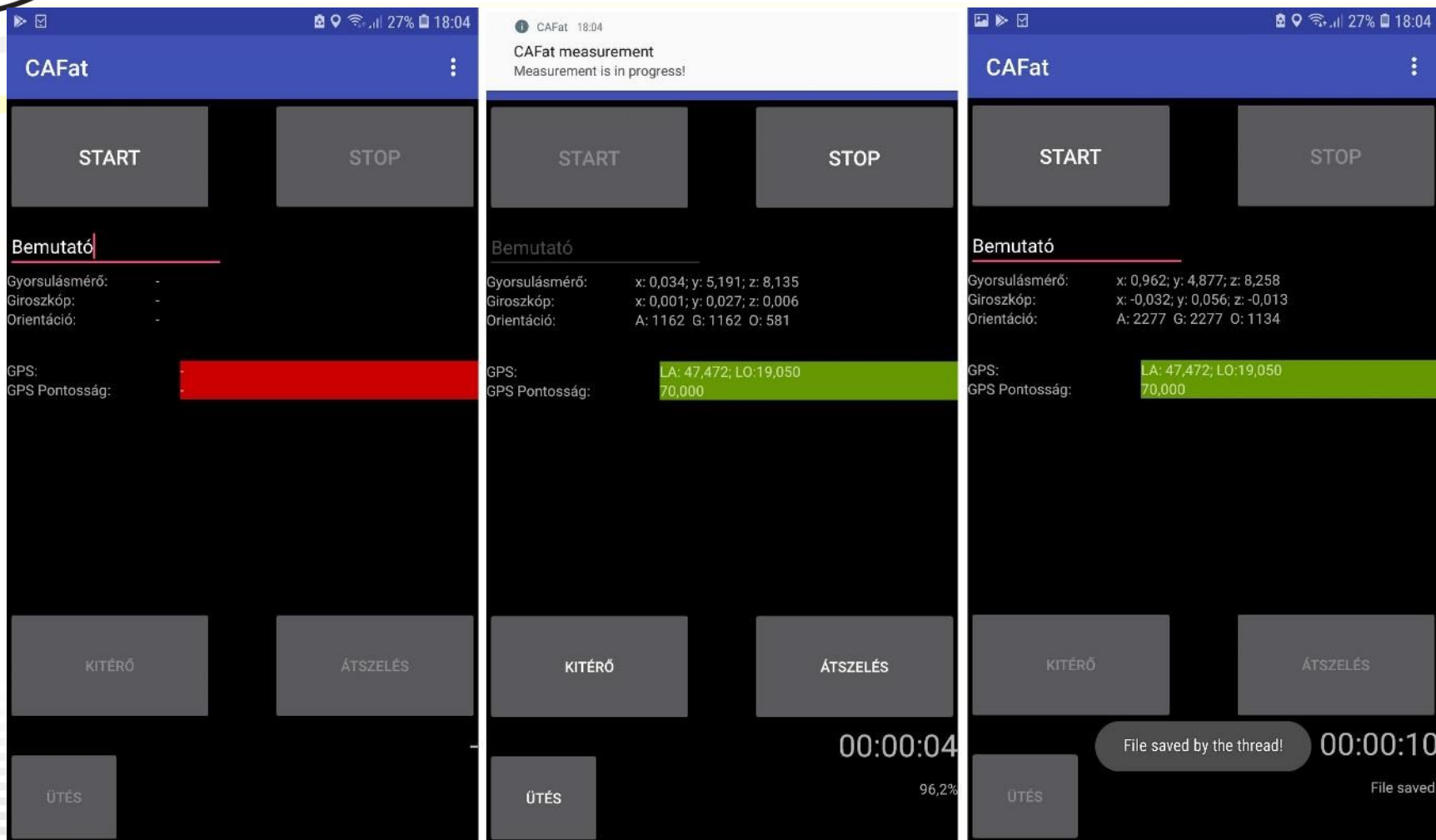
Alkalmazott szenzorok és minimális rendszerkövetelményeik

- Szenzorok:
 - Műholdas helymeghatározás (koordináta (< 10 m) és sebességadat (± 3 km/h))
 - 3 tengelyű gyorsulásmérő ($F_s > 100$ Hz)
 - 3 tengelyű giroszkóp
 - 3 tengelyű dőlésmérő

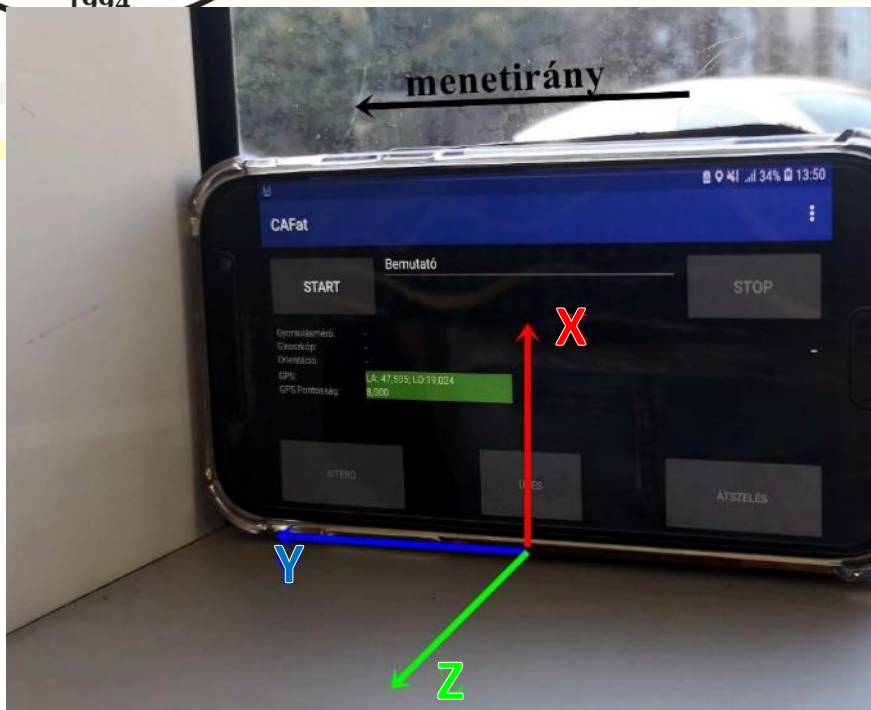


A vasúti jármű tömegrugó rendszereként modellezve

Új fejlesztésű mérőprogram: „CAFat”

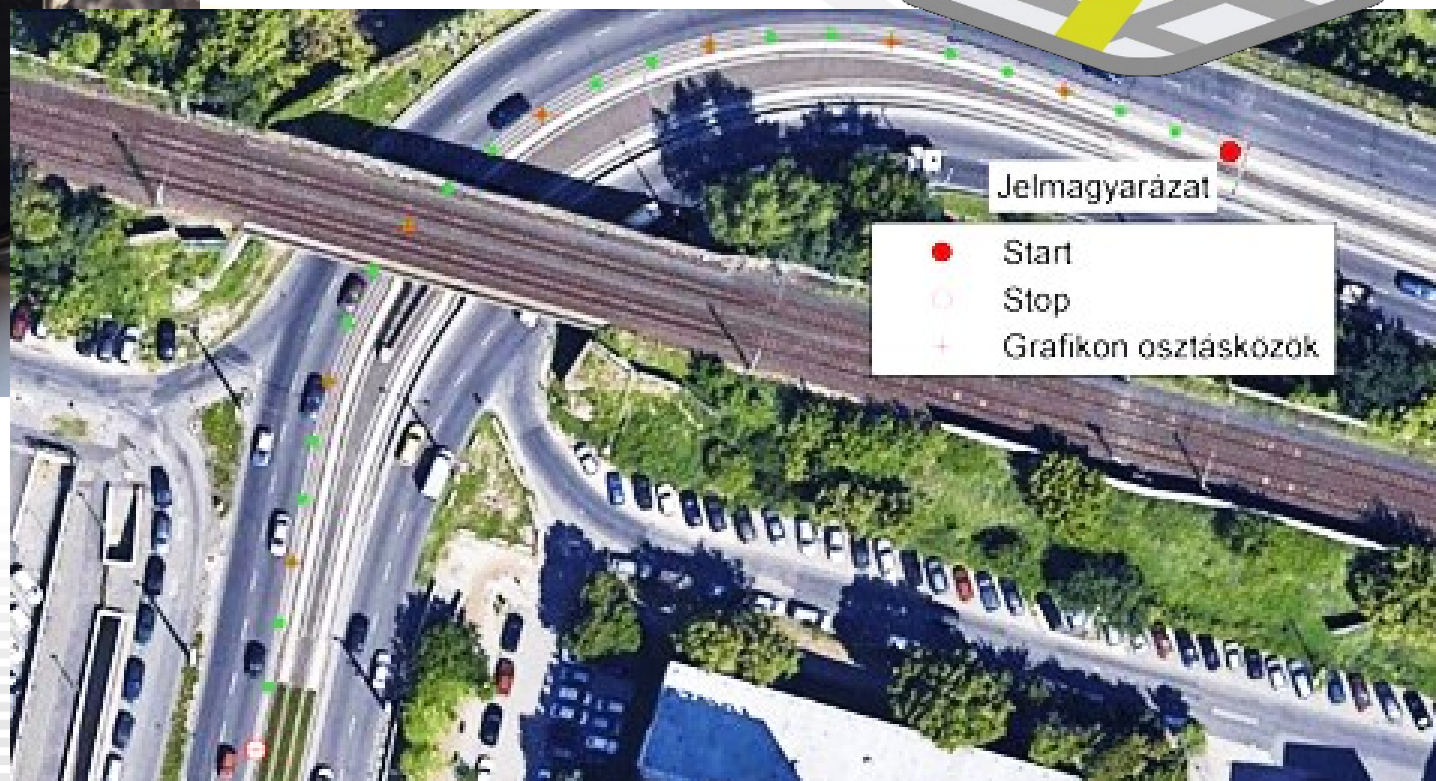


Új fejlesztésű mérőprogram: „CAFat”



Csikós Attila szoftverfejlesztő
közreműködésével.

A SensorApp tapasztalatait felhasználva
(Gáspár Viktor 2017).





Mérőrendszer: szolgáltatott adatok

Bemutató_samsung SM-A520F_20181008_223606.csv - Excel

FÁJL KEZDŐLAP BESZÚRÁS LAPELRENDEZÉS KÉPLETEK ADATOK VÉLEMÉNYEZÉS NÉZET Bejelentkezés

Vágólap Betűtípus Igazítás Szám Stílusok Cellák Szerkesztés

A1 Start

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Start	2018.10.08 22:36:06,000																
2	End	2018.10.08 22:36:16,000																
3	All sensor	200 Hz"																
4	paramete	t[s]	v[m/s]	lat	lon	accuracy	ax	ay	az	pitch	roll	yaw	gyro_x	gyro_y	gyro_z	deg	event	
5		0.000	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	:																	
17		0.060	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18		0.065	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.1173158	3.3494882	9.0309286	0	0	0	0	0	0	0	0	
19		0.070	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.1173158	3.3494882	9.0309286	0	0	0	-0.026878	0.0470366	-0.034208	0	0	
20		0.075	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.0718260	3.3063924	9.2080993	-19.751358	-0.446915	9.9889936	-0.026878	0.0470366	-0.034208	-19.751358032	Detour rail	
21		0.080	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.0718260	3.3087866	9.3637228	-19.751358	-0.446915	9.9889936	-0.025656	0.0476474	-0.031154	-19.751358032		
429	:																	
430		2.125	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.1388636	3.5673606	8.8250274	-22.007682	-0.901486	9.5767650	0.0250454	-0.042149	-0.003054	-22.007682800		
431		2.130	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.0646434	3.5841200	8.8082675	-22.007682	-0.901486	9.5767650	0.0226020	-0.046425	-0.015271	-22.007682800	Touched layout	
432		2.135	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	0.0287304	3.5889084	8.8441810	-22.086875	-0.186125	9.3389091	0.0201585	-0.044593	-0.021991	-22.086875916		
433		2.140	0.520	47.47169005	19.05118932	47.00	-0.007182	3.5913026	8.8513641	-22.086875	-0.186125	9.3389091	0.0244346	-0.047647	-0.032375	-22.086875916		
1364	:																	
1365		6.800	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.083797	3.3518824	9.0189580	-20.38670	0.5323319	7.6378502	0.0134390	0.0103847	0.0000000	-20.386701584		
1366		6.805	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.093373	3.3854012	9.0237464	-20.38670	0.5323319	7.6378502	0.0128281	0.0048869	0.0036651	-20.386701584		
1367		6.810	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.088585	3.3758244	9.0021982	-20.55513	0.5637966	7.5978274	0.0171042	0.0030543	0.0048869	-20.555133820		
1368		6.815	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.076614	3.3734302	8.9686794	-20.55513	0.5637966	7.5978274	0.0171042	0.0000000	0.0030543	-20.555133820	Crossing rail	
1369		6.820	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.055066	3.4021606	8.9327669	-20.77235	0.3530099	7.8073253	0.0140499	-0.001221	0.0024434	-20.772356033		
1370		6.825	0.820	47.47176021	19.05108673	48.00	-0.055066	3.4021606	8.9327669	-20.77235	0.3530099	7.8073253	0.0128281	-0.001832	-0.002443	-20.772356033		

Bemutató_samsung SM-A520F_20181

Szolgáltatott adatok értelmezése

Kiemelt példa

Helyszín:

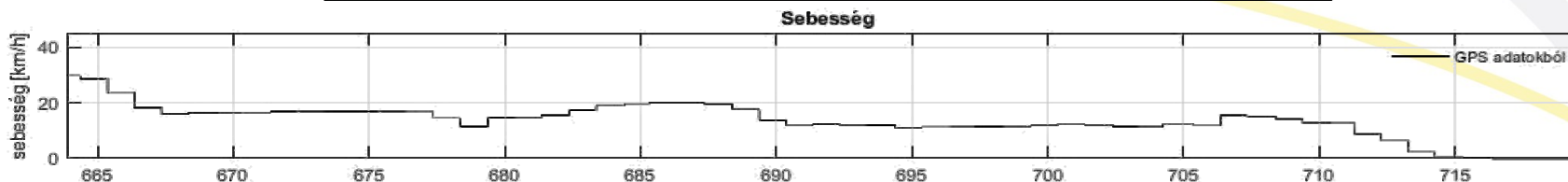
17-es villamos, Vidra utca kiágazás



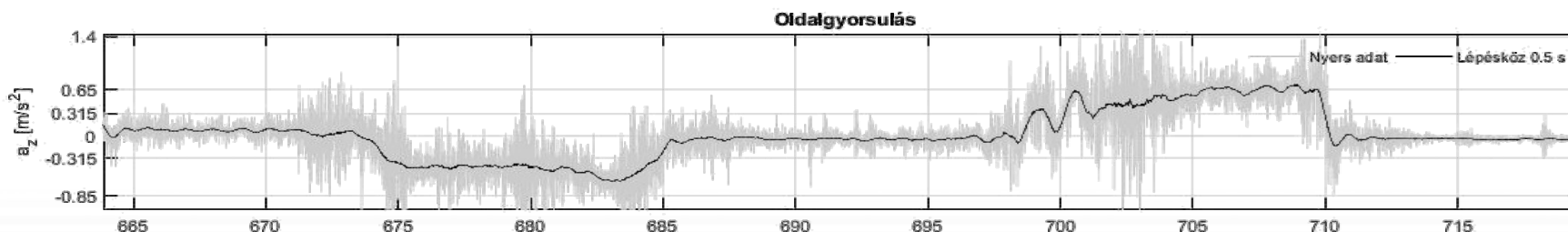
Túlemelés nélküli pályaszakaszon és állandó járműsebesség mellett alkalmazható!

$$a_0 = v \cdot \omega = v \cdot \frac{v}{R} = \frac{v^2}{R}$$

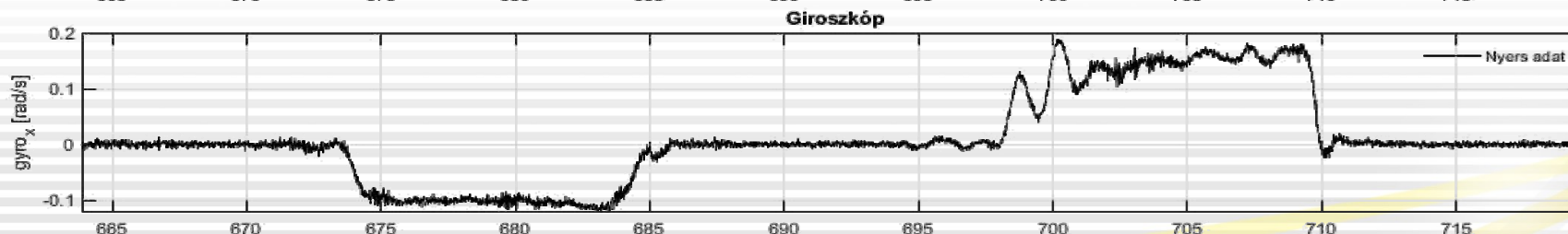
Sebesség



Oldalgyorsulás



Girozkóp

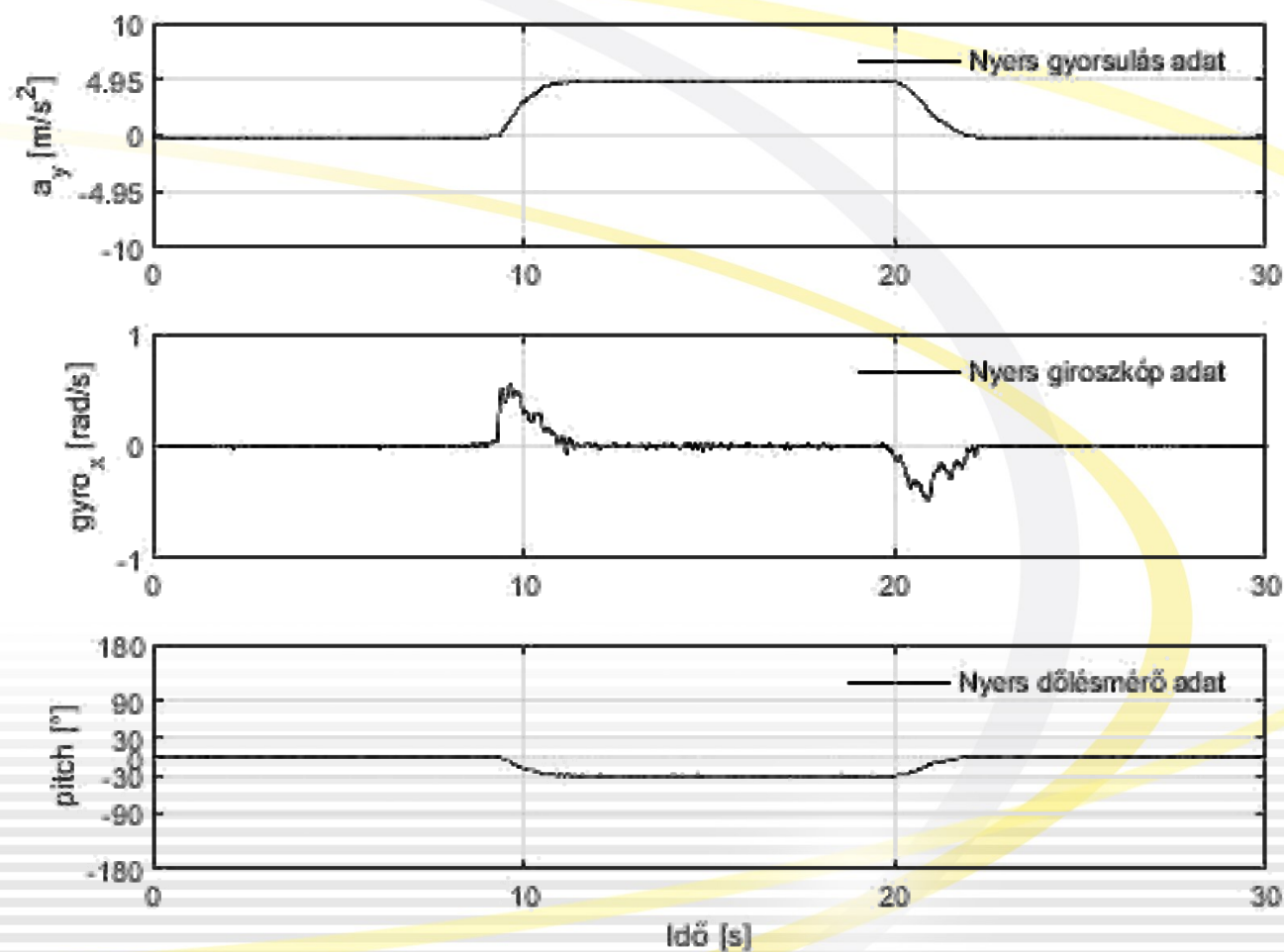
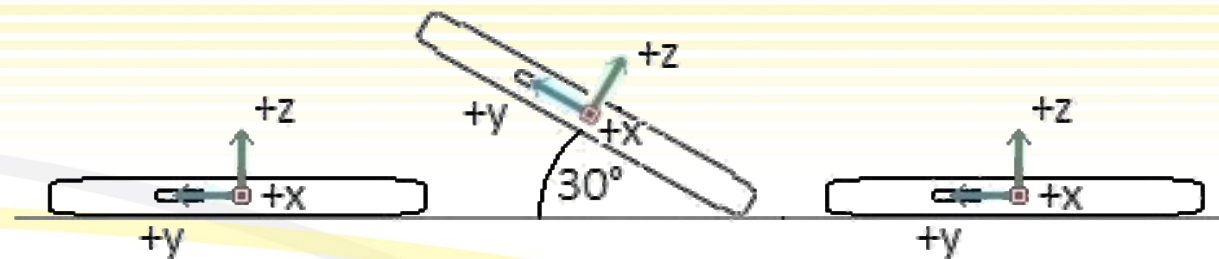


idő [s]

Kalibráció I. Szenzoradatok fizikai tartalmának ellenőrzése



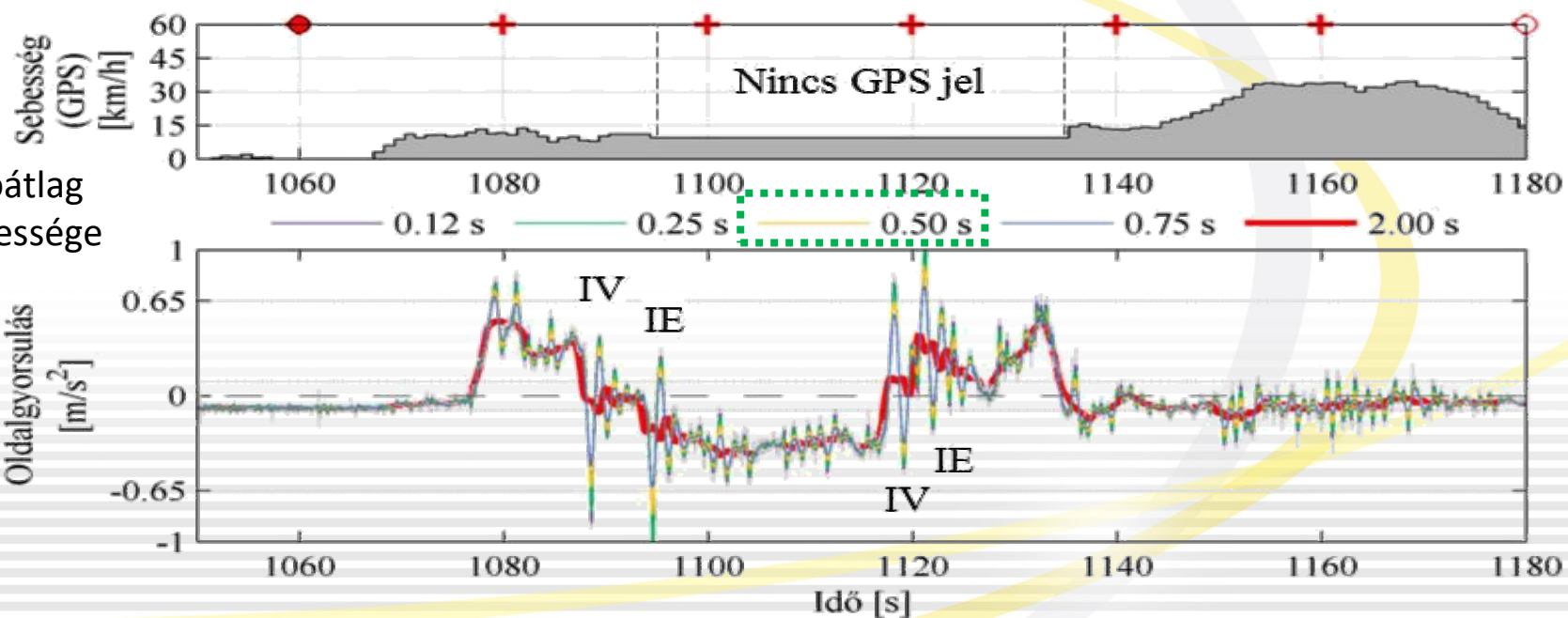
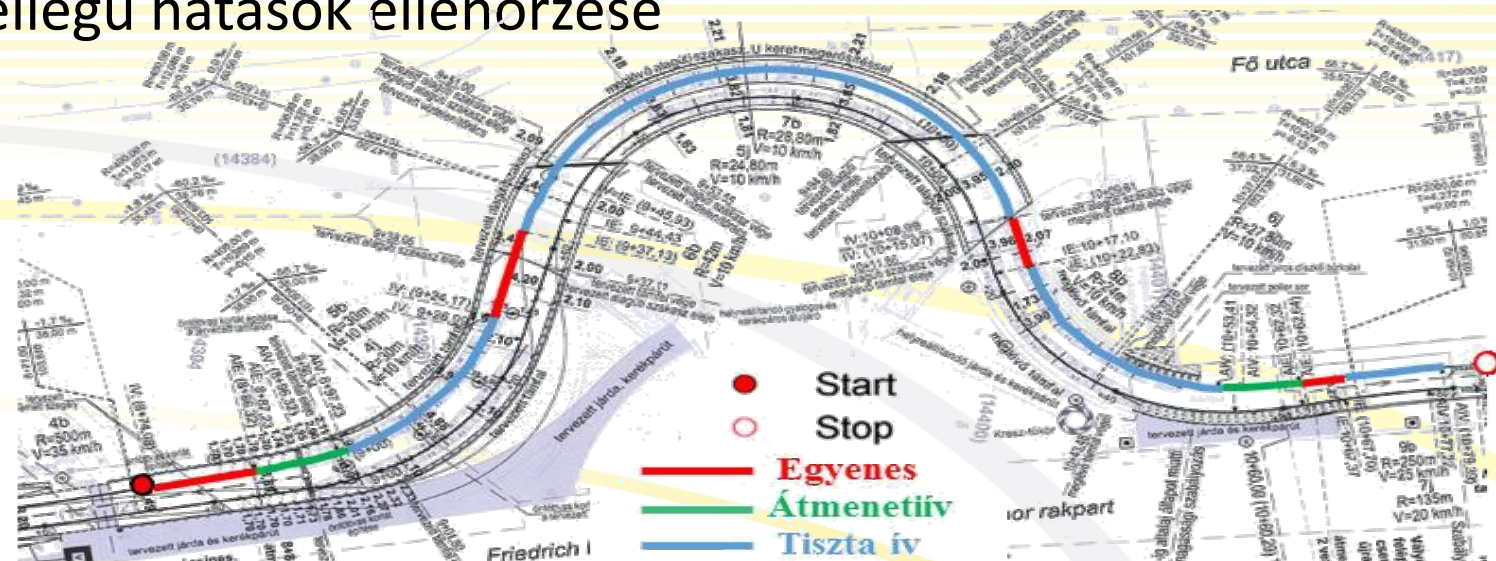
X,Y,Z tengelyek körüli forgás
vizsgálatához készített (emelő)
doboz.



Kalibráció II. Egyenes és ív közvetlen csatlakoztatásánál fellépő tranziens jellegű hatások ellenőrzése

Helyszín:

19, 41-es villamos
Lánchíd alagút



Oldalgyorsulás mozgóátlag
alkalmazott ablakszélessége

Kalibráció III.

Átmenetiíves pályaív vizsgálata

Helyszín:

1-es villamos, Budafoki út/Dombóvári út megállóhely előtti átmenetiíves ív

- Mérési adatok összevetése a közelítő képletekkel átmenetiíves ív esetén ($L > d$)**

- Oldalgyorsulás esetén:

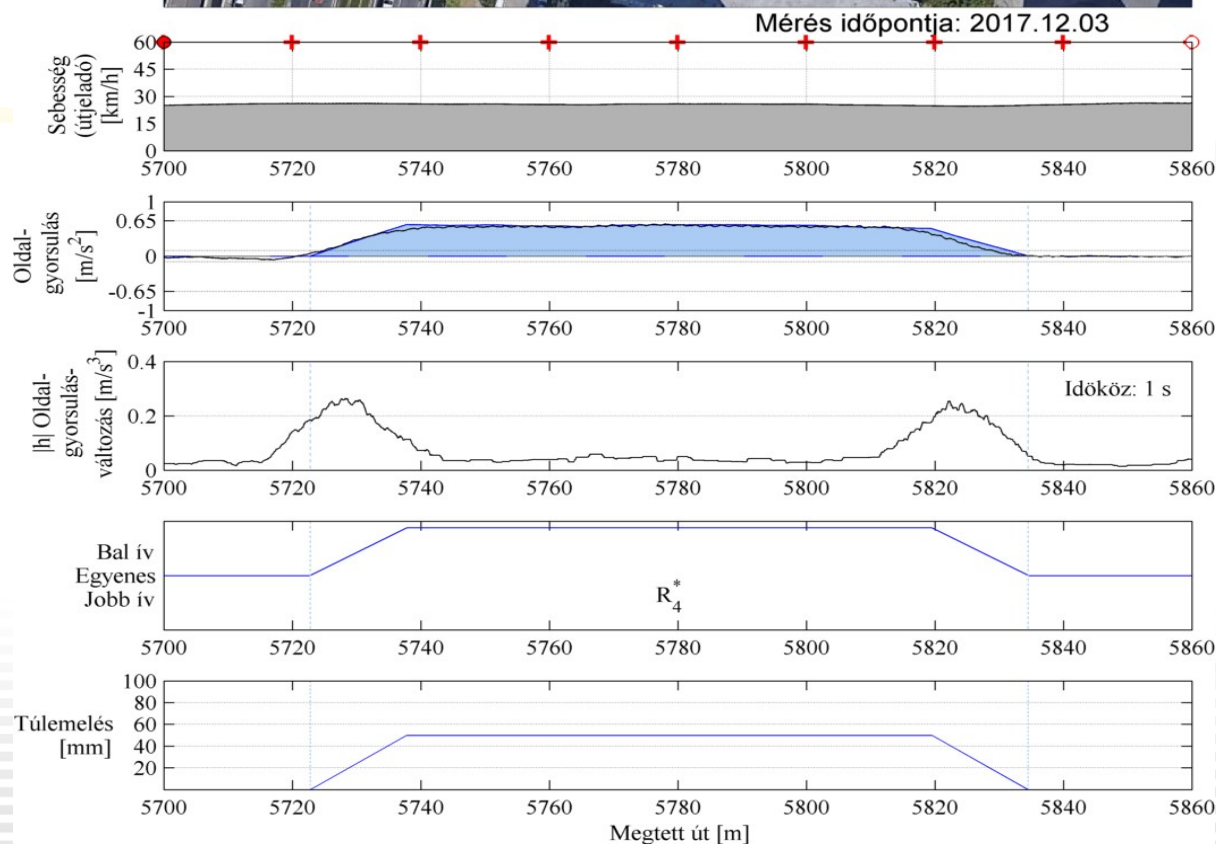
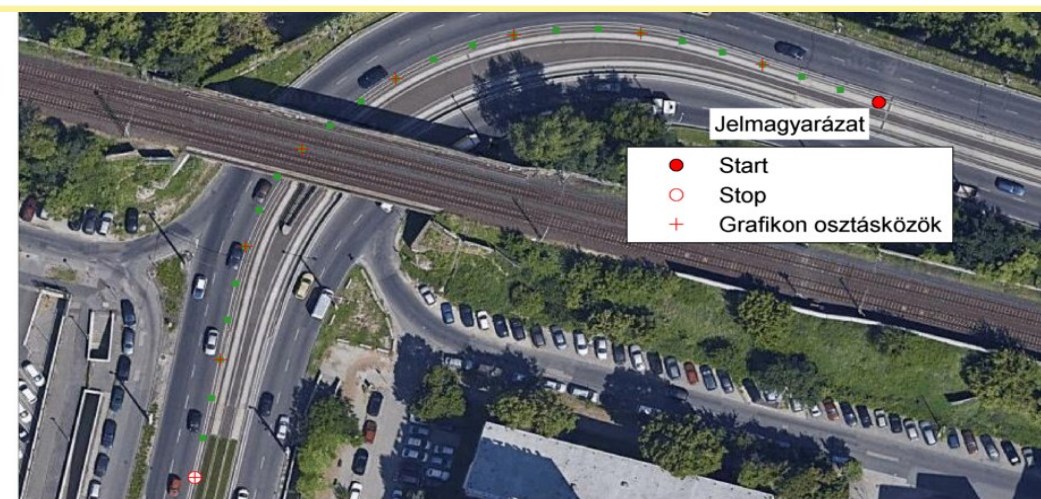
$$a_0 = \frac{V^2}{3,6^2 R}; \quad m = 0$$

$$a_0 = \frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{m}{153}; \quad m > 0$$

- Oldalgyorsulás változás esetén:

$$h = \frac{V^3}{3,6^3 R L}; \quad m = 0$$

$$h = \left(\frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{m}{153} \right) \cdot \frac{V}{L}; \quad m > 0$$



Forrás: Németh Réka MSc diplomamunka.

A mérési eredményeket befolyásoló tényezők

- **Mérésből adódó pontatlanságok:**

- GPS helyadat pontatlanság → konkrét számmal jellemezhető
- Gyorsulásmérő és giroszkóp pontatlanság → zajjal terhelt
- Mérőeszköz rossz elhelyezés/rögzítése, mérés közbeni elmozdulása
- Nem megfelelő adatfeldolgozási módszer
- Telefon típusa (szenzorok érzékenysége)

- **Pálya-jármű rendszer jellemzői:**

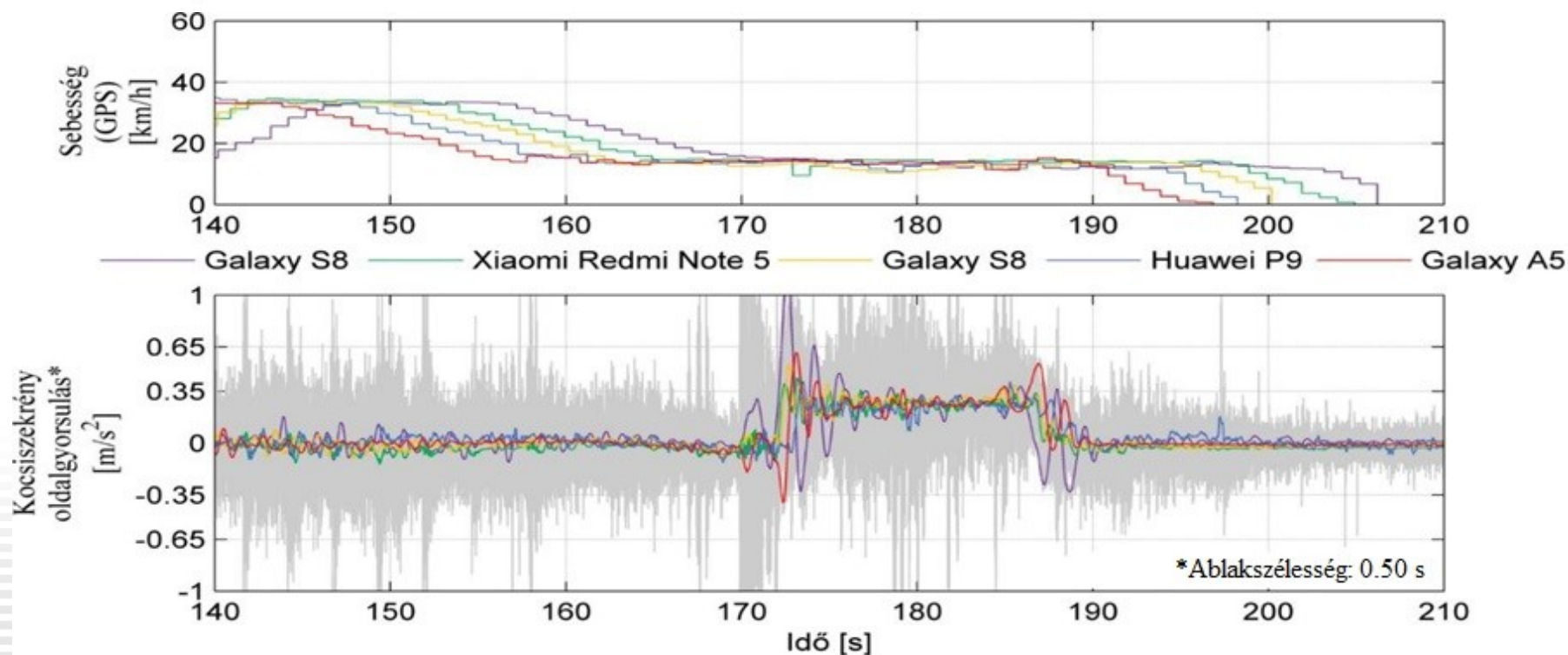
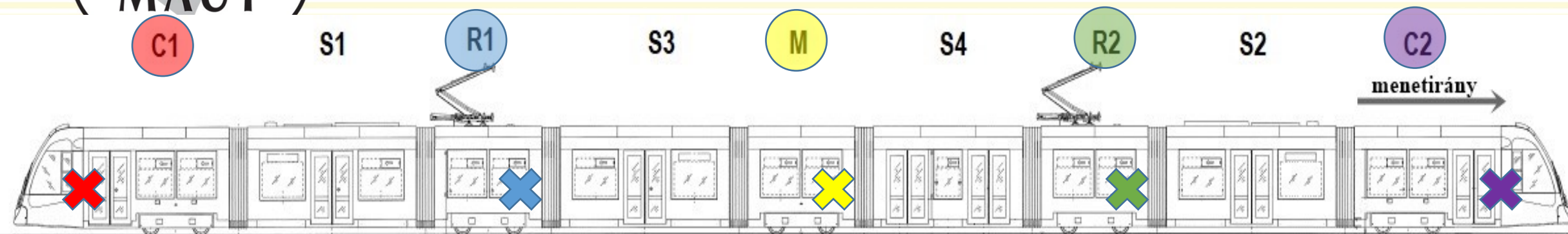
- Pálya és jármű műszaki állapota/ szerkezeti kialakítása
- Utasok elhelyezkedése/számuk/mozgásuk
- Sebességfüggőség (járművezetői stílus)

Vizsgált jármű: CAF Urbos3

- A budapesti járműpark legújabb típusú járműve;
- Befüggesztett (hajtás nélküli) és hajtott kocsiszekrényrészekből épül fel;
- Minden kereke hajtott és egymástól függetlenül képesek ívben sugárirányba befordulni;
- **5 modulos** és **9 modulos** jármű.

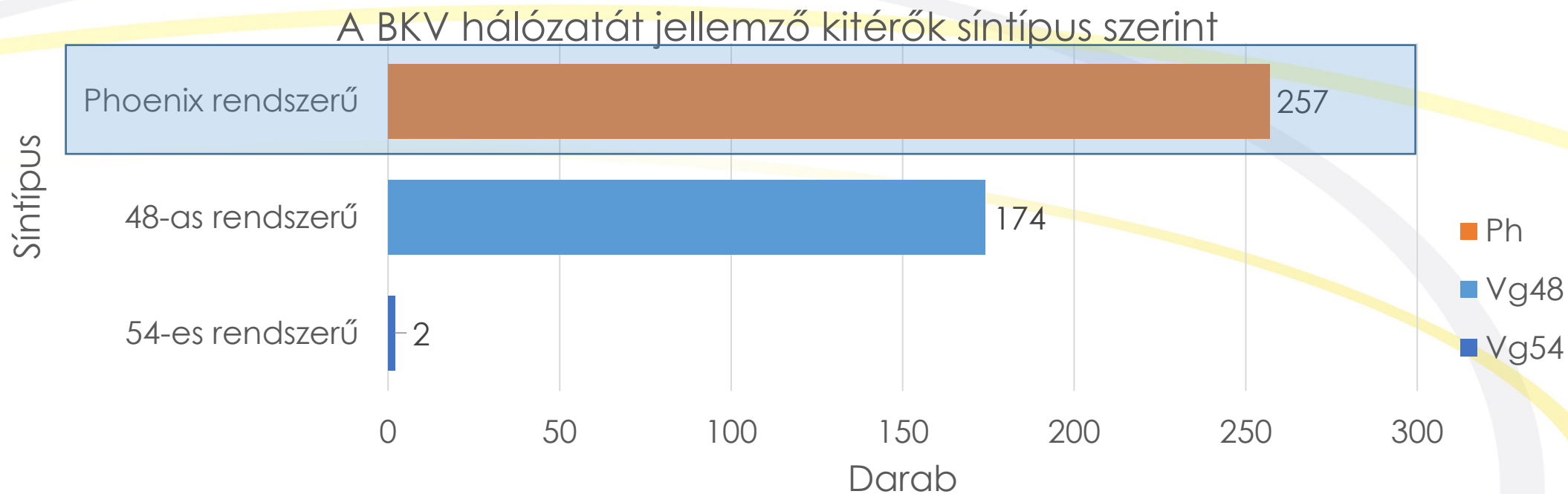


Mértékadó jármű keresztmetszet meghatározása



A vizsgálati helyszínek

Kiválasztási szempontok

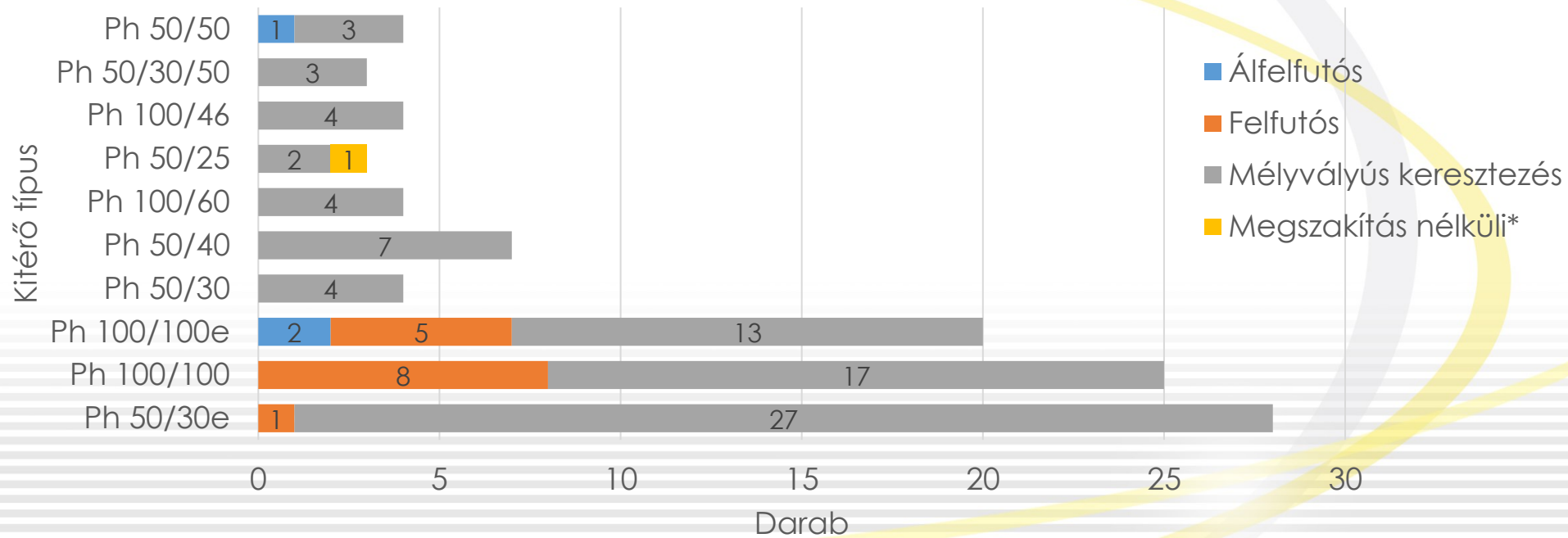


A BKV. Zrt 2018. februári adatbázisa alapján.

A vizsgálati helyszínek



A BKV. Zrt 2018. februári adatbázisa alapján.
CAF típusú villamosok által üzemszerűen járt Phoenix-kitérők megoszlása a keresztezés geometriai kialakítása szerint



A vizsgálati helyszínek



Kitérők és csatlakozó pályáívek vizsgálata

DINAMIKUS OLDALGYORSULÁS-VÁLTOZÁS

Numerikus deriválás segítségével számítottam a dinamikus oldalgyorsulás változást a már előzetesen mozgóátlagolt oldalgyorsulásból, illetve a giroszkópból származó oldalgyorsulásból is a (6) összefüggés szerint.

$$h_{acc} = \frac{da_0}{dt} \quad (7)$$

ahol: h_{acc} : a mért oldalgyorsulás idő szerinti deriváltjából származó dinamikus oldalgyorsulás-változás [m/s³]

a_0 : a készülékkel rögzített, mozgóátlagolt oldalgyorsulás [m/s²]

$$h_{gyro} = \frac{da_{gyro}}{dt} \quad (8)$$

ahol: h_{gyro} : az (6) képlet segítségével számított oldalgyorsulás idő szerinti deriváltjából származó dinamikus oldalgyorsulás- változás [m/s³]

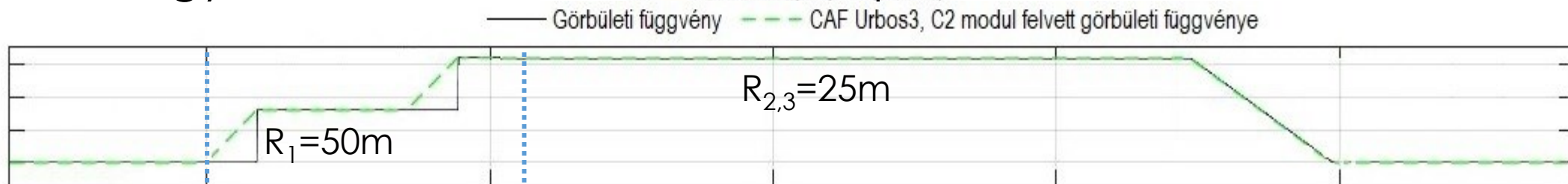
a_{gyro} : az (6) képlet segítségével meghatározott oldalgyorsulás [rad/s]

Majd a kapott értékeket (azok zajossága miatt) szintén mozgóátlagoltam, mely esetében a **T=0,5 s** mozgóátlagot alkalmaztam.

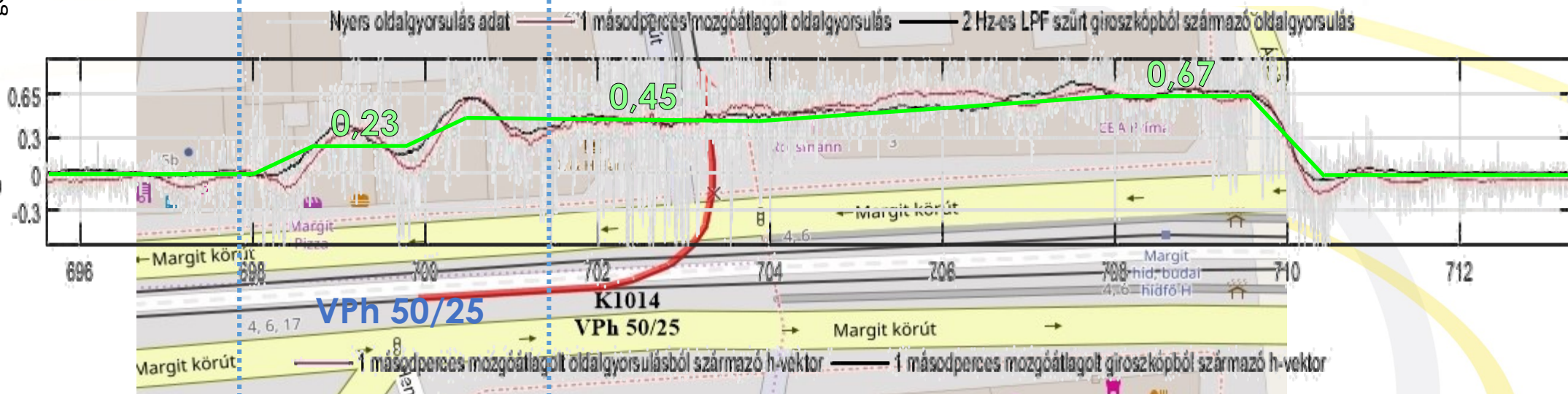
Mérések kiértékelése

Egyedülálló kitérők és kitérő csoportok

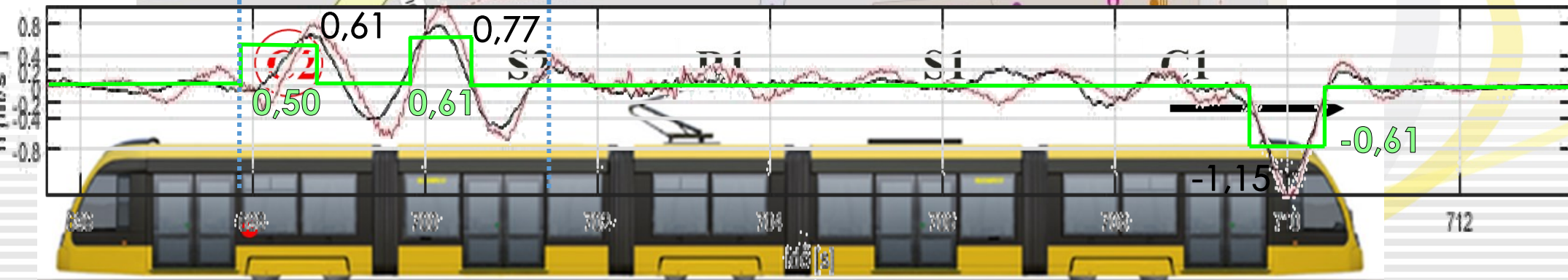
Elméleti és felvett
görbületi függvény



Oldalgyorsulás
 a_z [m/s²]



Dinamikus
oldalgyorsulás-változás
 h [m/s³]

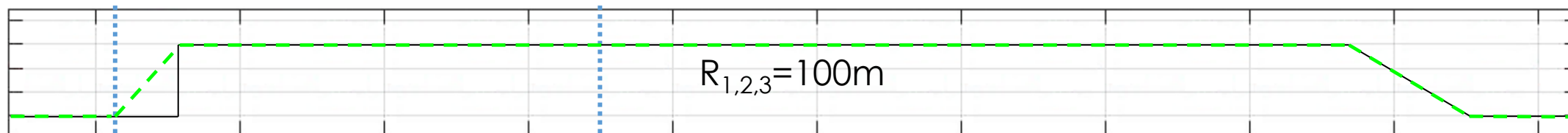


Mérések kiértékelése

Egyedülálló kitérők és kitérő csoportok

— Görbületi függvény — CAF Urbos3, C2 modul felvett görbületi függvénye

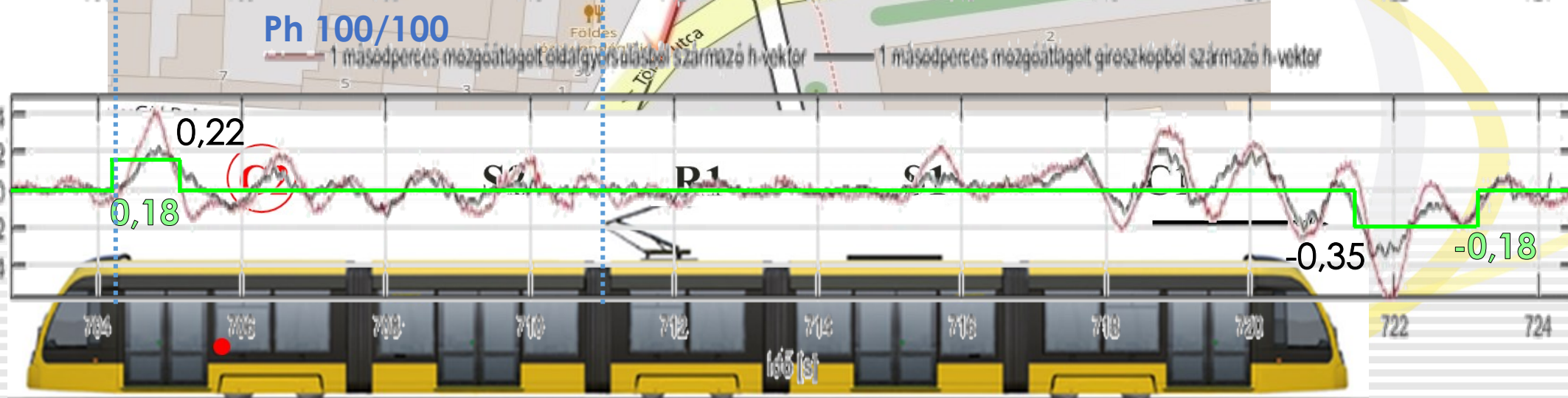
Elméleti és felvett görbületi függvény



Oktalgyorsulás $a_z [\text{m/s}^2]$

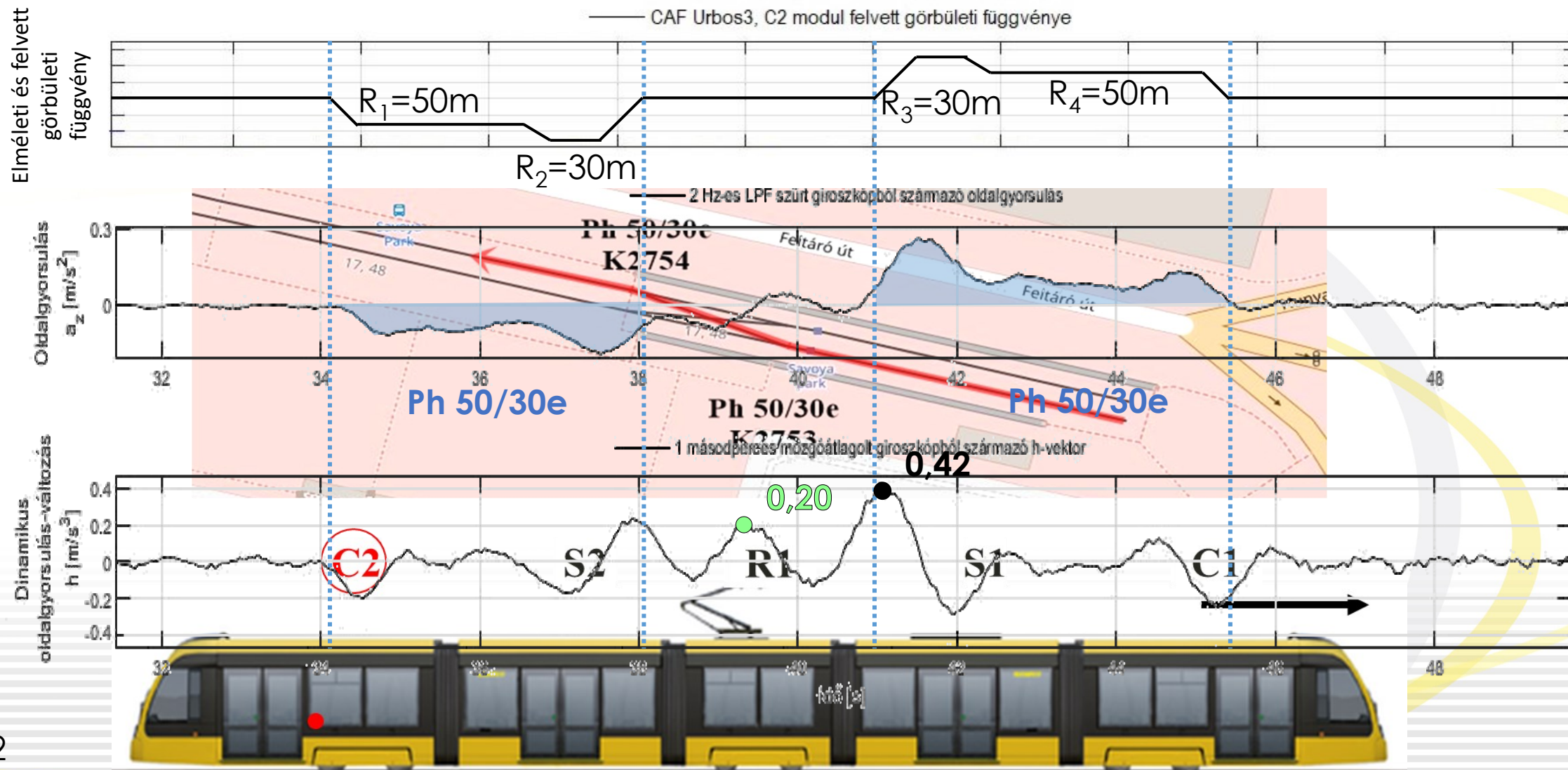


Dinamikus oldalgyorsulás-változás $h [\text{m/s}^3]$



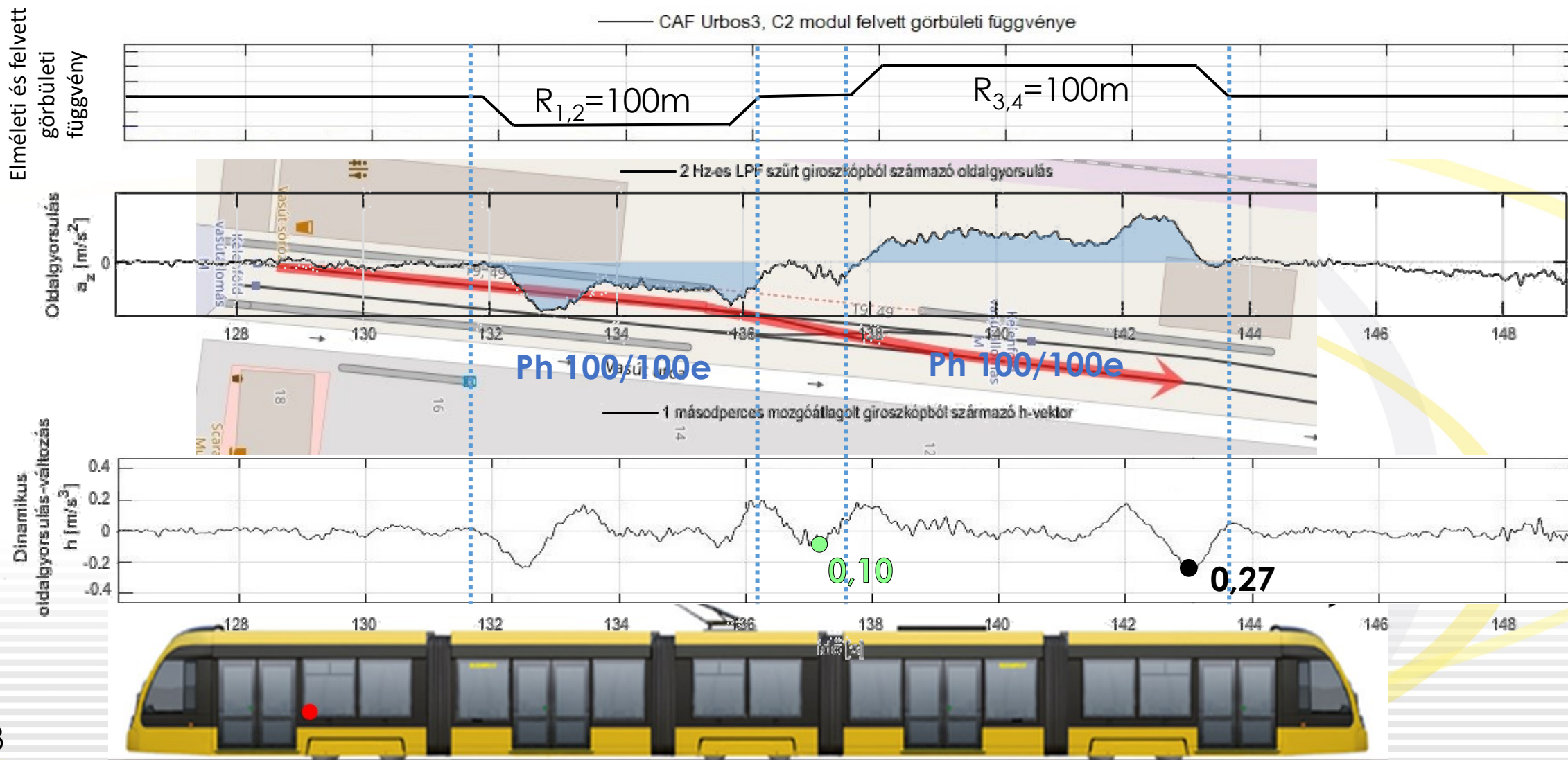
Mérések kiértékelése

Végállomási és vonali keresztkapcsolatok



Mérések kiértékelése

Végállomási és vonali keresztkapcsolatok



Összefoglalás

Közelítő képletek alkalmazhatóságának korlátai

A szabad oldalgyorsulás közelítő képlete:

1. A **változó sebesség** figyelembe vehető,
2. A jármű ívérzékelését jelentősen befolyásoló **mozgásérzékelő hosszt a közelítő képlet nem tartalmazza**,
3. Nem veszi figyelembe a jármű térbeli kiterjedését, szerkezeti kialakítását és a **járműdinamikai hatásokat** (pl: járműrugózás) sem. A jármű súlypontpályája, illetve a járművön belüli mérési pont útja jelentősen eltérhet a vonalvezetés tervezési értékeitől;
4. Elhanyagolja az egyenes és ív közvetlen csatlakozásánál jellemző **transziens jellegű hatásokat**. A pálya avulásával ezek hatások méginkább erősödnek.



Összefoglalás

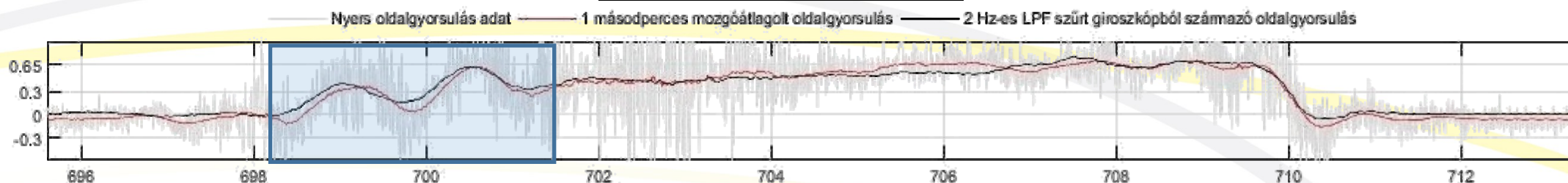
Pálya vonalvezetés

- Az állandó görbületű szakaszokon a mért és közelítő képletekkel számolt oldalgyorsulások eltérése új építésű és jó állapotú pályaszakaszokon kevesebb, mint **20%-os eltérést** mutattak.
- Görbület átmenet esetén amennyiben az átmenetiív hossza nagyobb, mint a mozgásérzékelő hossz, akkor a közelítő képlet jól alkalmazható
- Ugrásos görbületváltozásnál (egyenes-körív) vagy ha az átmenetiív kisebb, mint a mozgásérzékelő hossz, akkor a járműdinamikai hatások nem elhanyagolhatók.

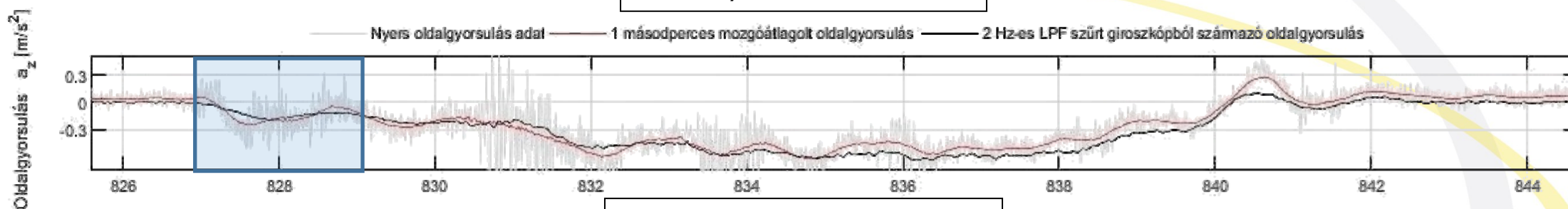
Összefoglalás

Kitérő geometria

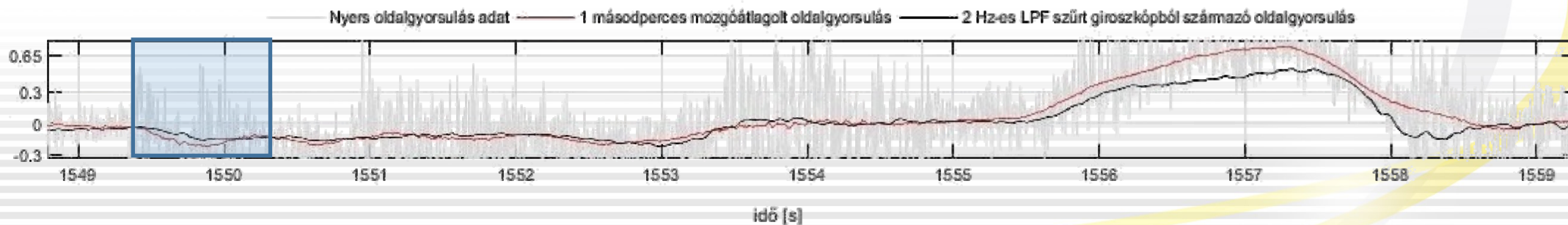
Ph 50/25 20-36-37



Ph 50/50 14-48-14



Ph 100/100e 8-37-00



További kutatási lehetőségek

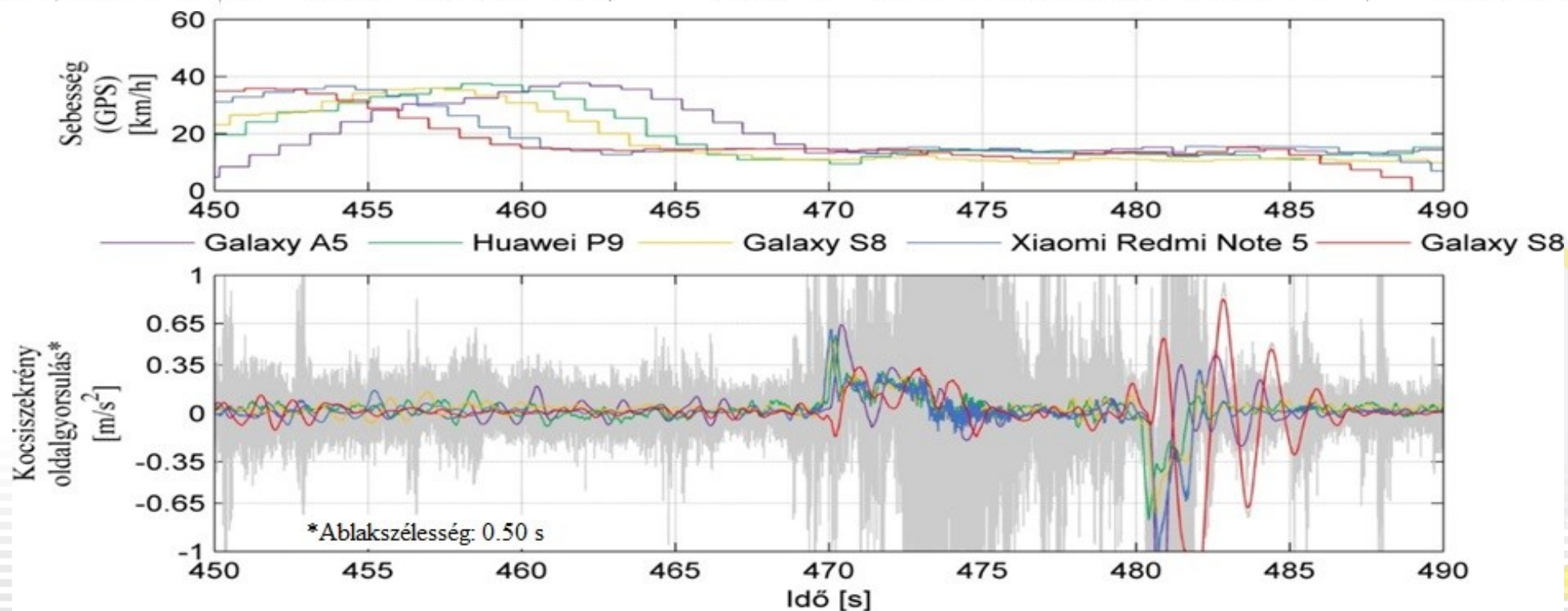
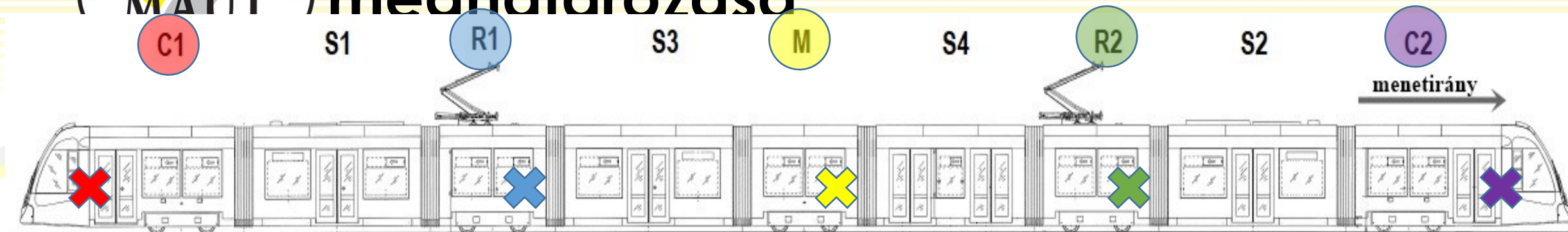
- 1. Pályatervezés, új építés:** a közelítő képletek az átmenetiíves ív paramétereinek tervezése során megbízhatóan alkalmazhatók. Rövid átmenetiív, vagy egyenes és ív közvetlen csatlakozása esetén azonban a közelítő képletek csak korlátozottan alkalmazhatók.
Feltétlenül szükséges a vizsgált jármű ívérzékelését meghatározó tulajdonságainak figyelembevétele!
- 2. Fenntartás, meglévő állapot mozgásgeometriai vizsgálata:** A pálya – jármű rendszer együttes műszaki állapotától függően az elméleti értékektől jelentősen eltérő kinematikai mozgásjellemzők is mérhetők. **A fenntartási határértékek felülvizsgálata indokolt a Budapesten üzemeltetett közúti vasúti járművek, méréssel meghatározott mozgásgeometriai viselkedésének statisztikai vizsgálatával**
- 3. Célszerű lenne megvizsgálni a már nem hatályos EN 13803-2:2006 szabvány határértékeinek műszaki háttérét,** mely az egyenes és körív közvetlen csatlakozásánál fellépő dinamikai hatásokat is figyelembe vette.



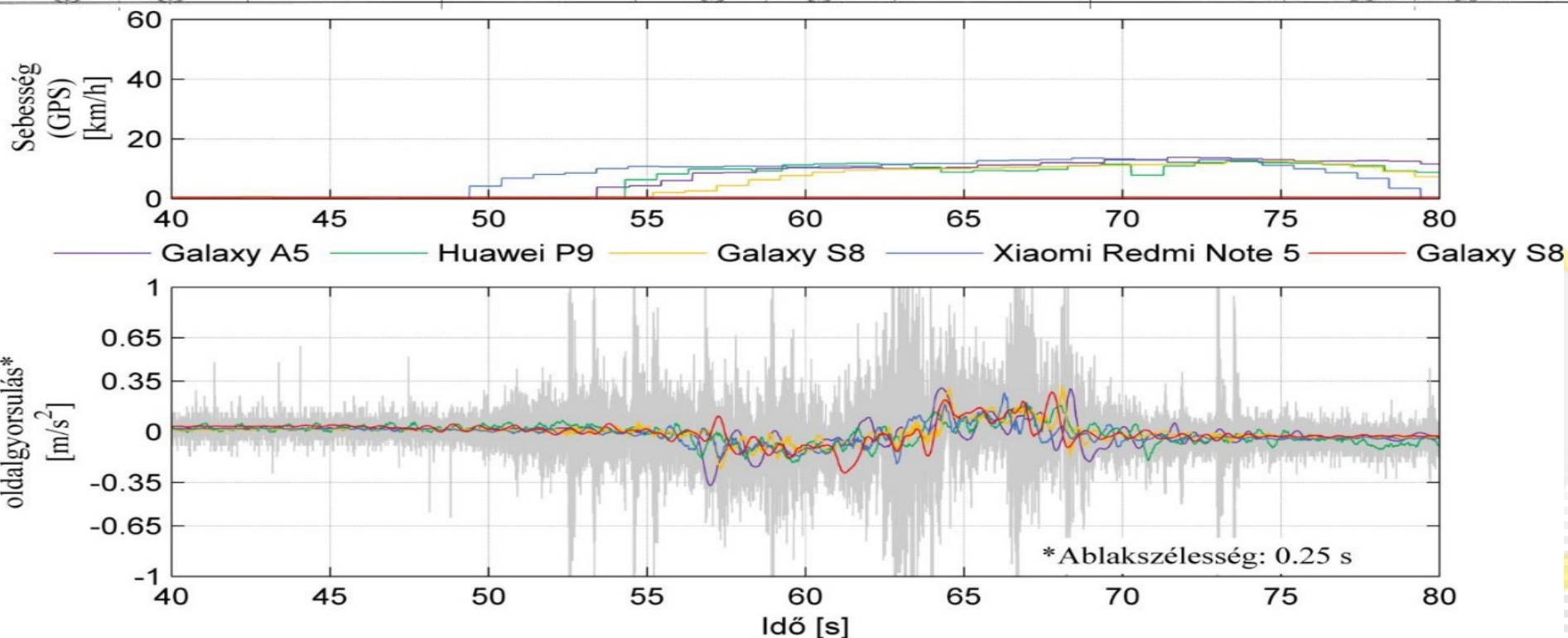
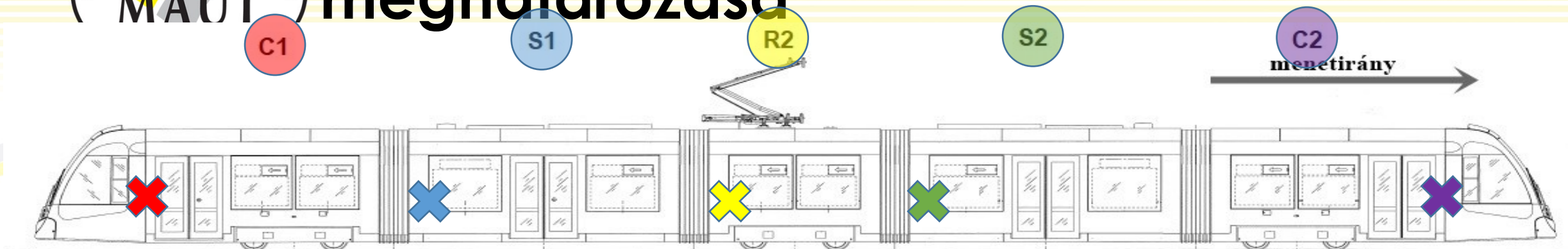
**Köszönöm a megtisztelő
figyelmüket!**



Mértékadó jármű keresztmetszet meghatározása



Mértékadó jármű keresztmetszet meghatározása



A vizsgált jármű mozgásérzékelő hosszának meghatározása

CAF Urbos3, szélső C2 jelű modul

— Görbületi függvény — CAF Urbos3, C2 modul felvett görbületi függvénye



— Nyers oldalgyorsulás adat — másodperces mozgóátlagolt oldalgyorsulás — 2 Hz-es LPF szűrt giroszkópból származó oldalgyorsulás — Számított oldalgyorsulás

Oldalgyorsulás

a_z [m/s²]

