



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
ÚT- ÉS VASÚTÉPÍTÉSI TANSZÉK

DIPLOMAMUNKA

Közlekedési létesítmények specializáció

A vasúti pálya megengedhető igénybevételeinek összehasonlító vizsgálata egyidejű vágánygeometriai és járműdinamikai mérések alapján

Készítette:
Balázs Dorottya

Belső konzulens: Dr. Bocz Péter, egyetemi docens

Társ konzulens: Vinkó Ákos, doktorandusz

Külső konzulens: Ágh Csaba, diagnosztikai mérnök, MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft.

Ívmagasságmérés

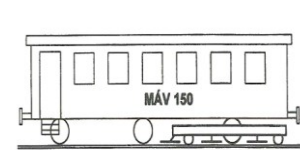
- Hárompontos húrmérés (szimmetrikus, aszimmetrikus húrelrendezés)
- Fiktív bázisú vágánygeometriai-mérés

Inerciális elvű mérési eljárás

Pályaállapot meghatározására szolgáló műszaki megoldások

Mérőkeretek

- Vámos-Kapoly vágánymérő készülék
- Kaiser-Dorpmüller vágánymérő készülék
- Pille vágánymérő készülék
- TrackScan vágánymérő készülék



Mérőkocsik:

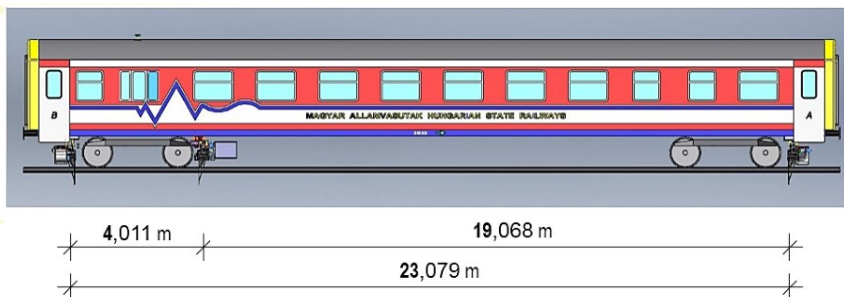
- FMK-001 mérőkocsi (Bereznay-féle mérőkocsi, MÁV 150. sz.)
- FMK-002 mérőkocsi (Amsler mérőkocsi, MÁV 850. sz.)
- FMK-003 mérőkocsi (MÁV 163. sz.)
- FMK-004 mérőkocsi (EM-120)
- FMK-007 mérőkocsi



Az FMK-007 mérőkocsi mérőrendszereinek bemutatása

Vágánygeometriai mérőrendszer:

- Hárompontos hűrmérés: aszimmetrikus húrelrendezés

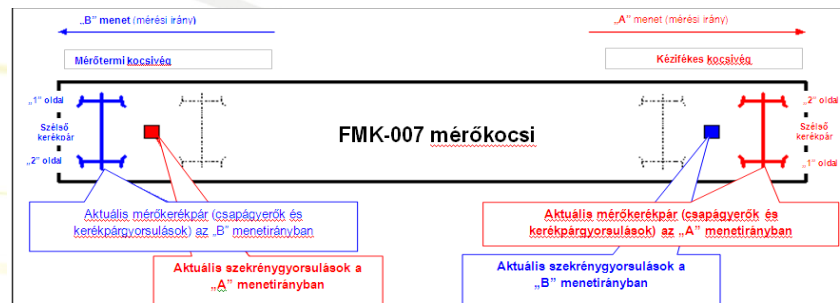


Szolgáltatott vágánygeometriai paraméterek:

- süppedés jobb sínszál (D1, D2, E húr, T húr),
- süppedés bal sínszál (D1, D2, E húr, T húr),
- irány jobb sínszál (D1, D2, E húr, T húr),
- irány bal sínszál (D1, D2, E húr, T húr),
- síktorzulás (A, B, C, D, E bázison),
- nyomtávolság,
- nyomtávolság-változás,
- túlemelés,
- görbület,
- süppedés szórás,
- dinamikus keresztfekszint

Járműdinamikai mérőrendszer:

- Inerciális elvű mérési eljárás



Szolgáltatott járműdinamikai paraméterek:

- vágányra ható oldalirányú erő (Sum Y),
- siklásbiztonsági jellemző (Bs),
- kiegészítő siklásbiztonsági jellemző (Bks),
- pályabiztonsági jellemző (Bp),
- függőleges többletterhelési jellemző (vágány) (PTva),
- függőleges többletterhelési jellemző (jobb sínszál) (PTj),
- függőleges többletterhelési jellemző (bal sínszál) (PTb),
- keresztirányú dinamikus lengés-komfort (Kk),
- függőleges irányú dinamikus lengés-komfort (Kf),
- kvázistatikus keresztirányú komfort (Kqk),
- kiegyenlítettlen szabad oldalgyorsulás (a_0)

A vizsgált viszonylat bemutatása

40a és 40-es vonal (mérés: 2015.04.14.)

- Kelenföld – Pusztaszabolcs, Pusztaszabolcs – Pécs
- Kétvágányú, egyvágányú
- engedélyezett sebesség: 100-120 km/h

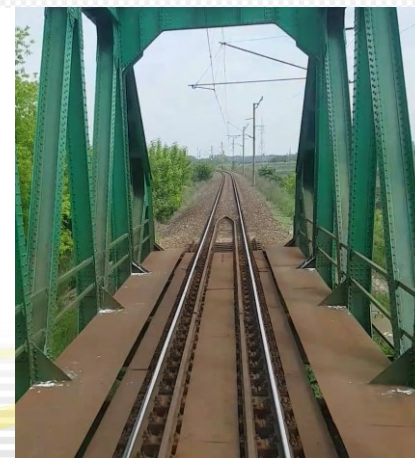
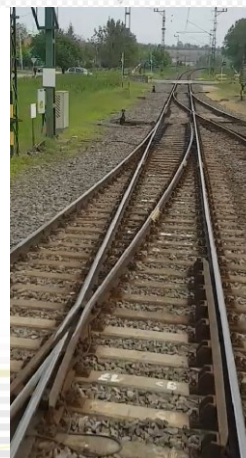
Felépítmény:

- Zúzottkő ágyazat
- Betonlajak (eltérő típusú)
- UIC 54 rendszerű sín
- GEO rendszerű sínleerősítések

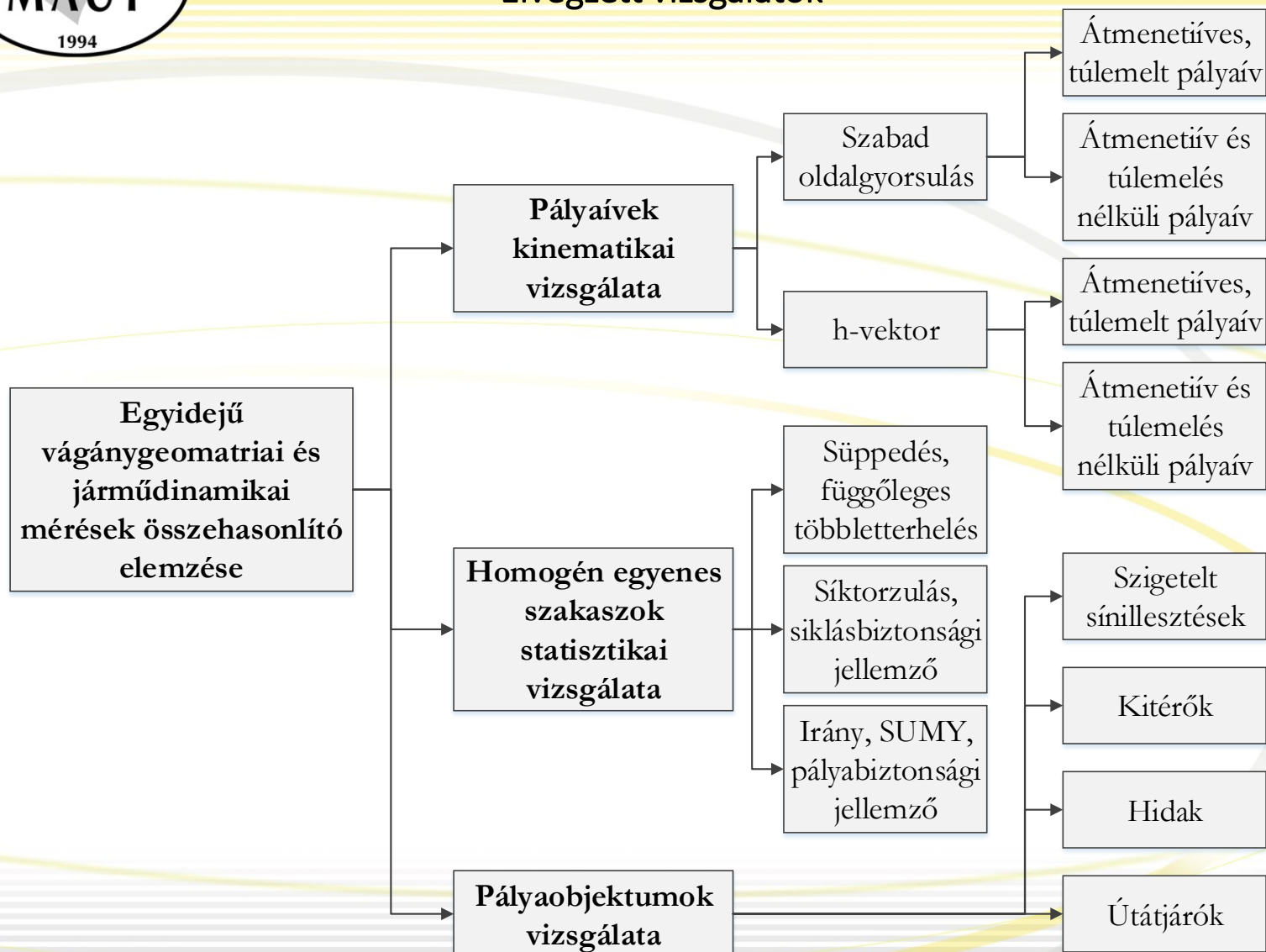


Műtárgyak:

- hidak
- alagutak



Elvégzett vizsgálatok

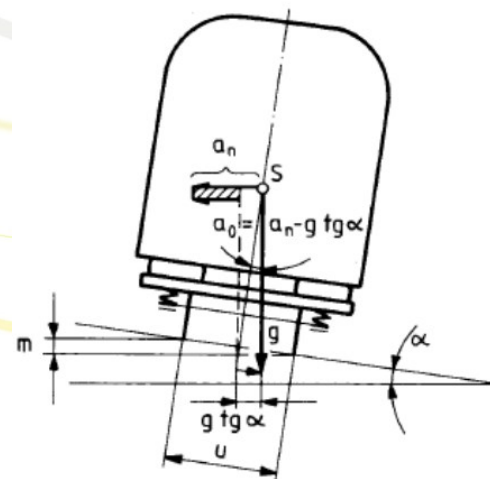


A kinematikai mozgásjellemző vektorok számítása során alkalmazott közelítések:

- a vasúti jármű térben mozgó tömegpont
- a sebesség állandó ($v = \text{const}$)

Pályaívekben fellépő szabad oldalgyorsulás adatok függőségei:

- mérési irány, mérési sebesség
- a pálya és a jármű műszaki állapota
- pályaívek kialakítása (sugár, túlemelés, átmentiív)



A Járműdinamikai mérés szolgáltatott szabad oldalgyorsulás adatai:

- hátsó forgócsap fölötti gyorsulásmérő-pár által mért kvázistatikus keresztirányú **szekrénygyorsulás** adatokból számított paraméter (pozitívan szolgáltatott adat)
- mérési adatok zajszűrése és tárázása

$$a_{0, \text{mért}} = \frac{Kqk}{k}$$

A vágánygeometriai mérés adataiból számított szabad oldalgyorsulás adatok:

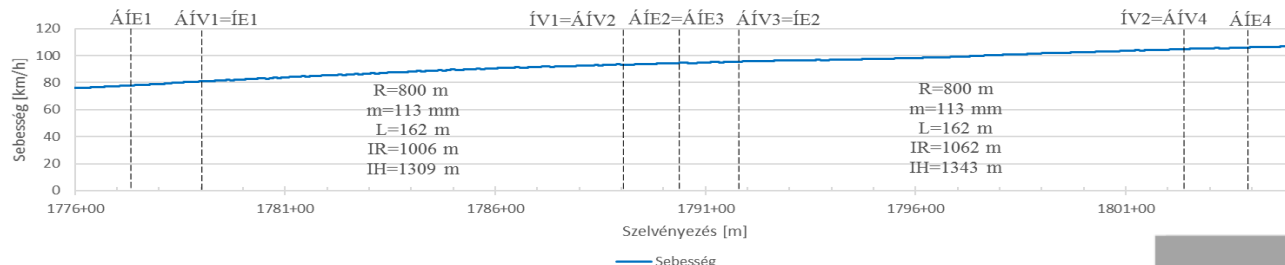
Felhasznált adatok:

- görbület
- túlemelés
- mérési sebesség

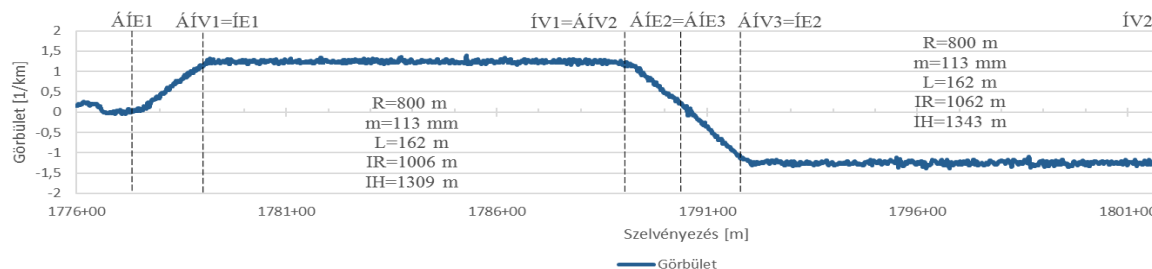
$$a_{0, \text{szám}} = \frac{V_{\text{mér}}^2}{3,6^2 \cdot R} - g \cdot \frac{m}{1500}$$

A szabad oldalgyorsulás átmenetiíves, túlelelet pályáívekben

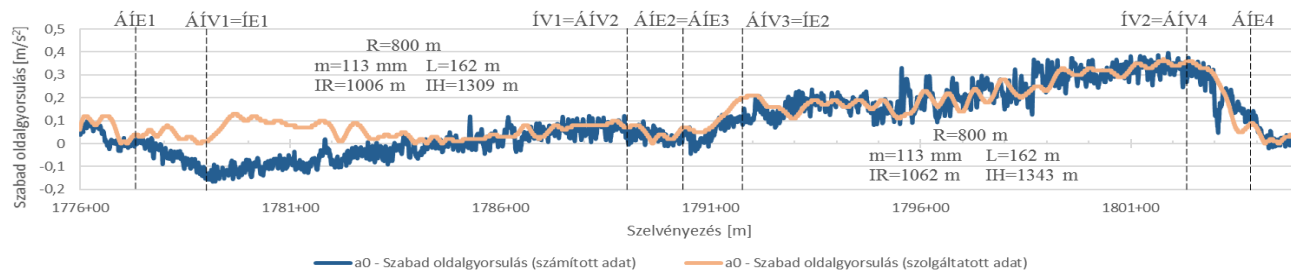
Sebesség Godisa állomás és Kishajmás megállóhely között
(1776+00-1805+00)



Görbület Godisa állomás és Kishajmás megállóhely között
(1776+00-1805+00)



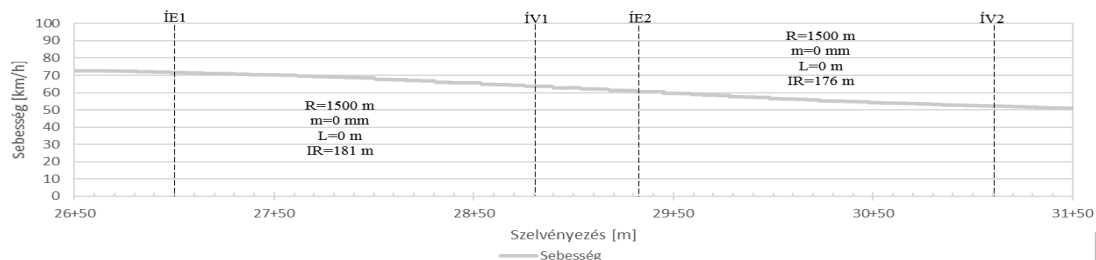
Szabad oldalgyorsulás Godisa állomás és Kishajmás megállóhely között
(1776+00-1805+00)



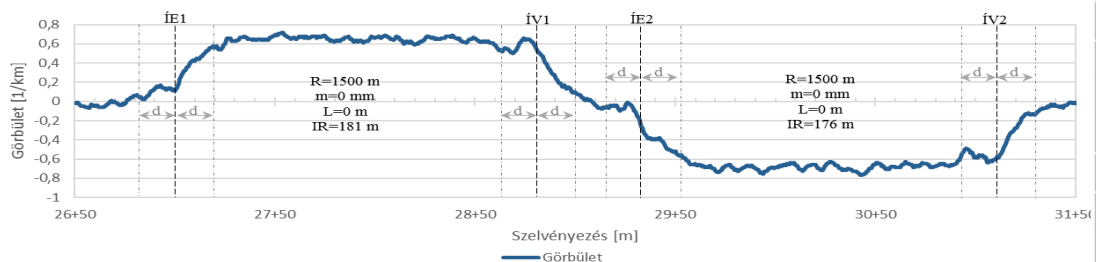
		1. körív	2. körív
Túlelelés [mm]	számított	116,23	111,88
	ívadat	113	113
	eltérés	2,86%	0,99%
Görbület [1/km]	számított	1,243	1,249
Sugár [m]	számított	804,74	800,40
	ívadat	800	800
	eltérés	0,59%	0,05%
Sebesség [km/h]	átlag	87,74	99,75
Szabad oldalgyorsulás [m/s²]	számított	0,059	0,228
	szolgáltatott	0,058	0,230
	eltérés	2,55%	0,60%

A szabad oldalgyorsulás átmenetiív és túlemelés nélküli pályáívekben

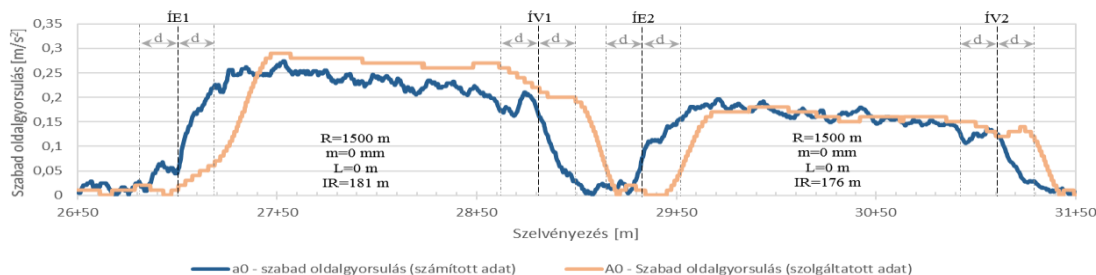
Sebesség Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



Görbület Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



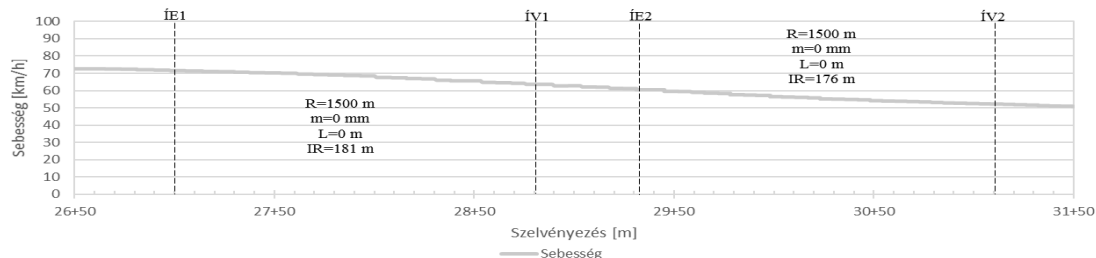
Szabad oldalgyorsulás Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



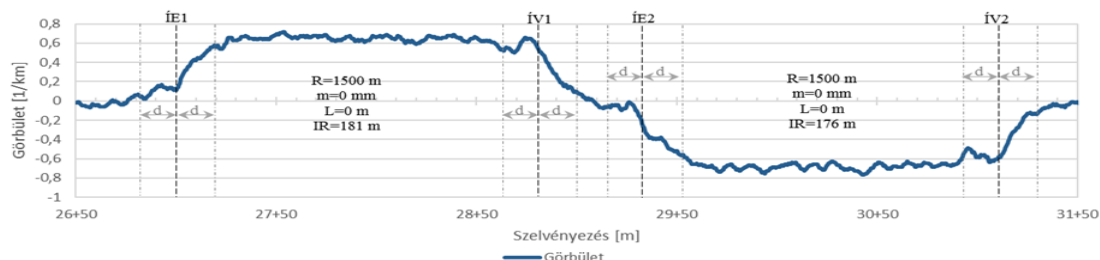
		1. körív	2. körív
Túlemelés [mm]	számított	3,14	1,01
	ívadat	0	0
Görbület [1/km]	számított	0,614	0,642
	ívadat	1500	1500
Sugár [m]	számított	1627,50	1557,69
	ívadat	1500	1500
	eltérés	8,50%	3,85%
Sebesség [km/h]	átlag	68,29	56,16
Szabad oldalgyorsulás [m/s²]	számított	0,221	0,156
	szolgáltató	0,230	0,140
	eltérés	3,78%	10,79%

A szabad oldalgyorsulás változása átmenetiív és túlemelés nélküli pályáívekben

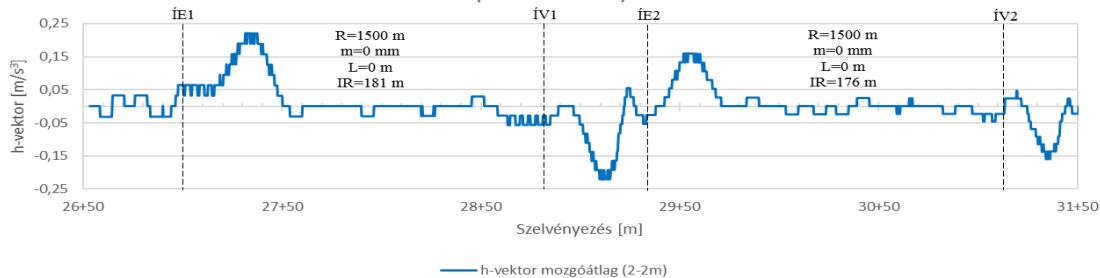
Sebesség Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



Görbület Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



h-vektor mozgóátlag (2-2m) Kelenföld-Háros állomások között (Jobb vágány)
(26+50-31+50)



Számítás módja:

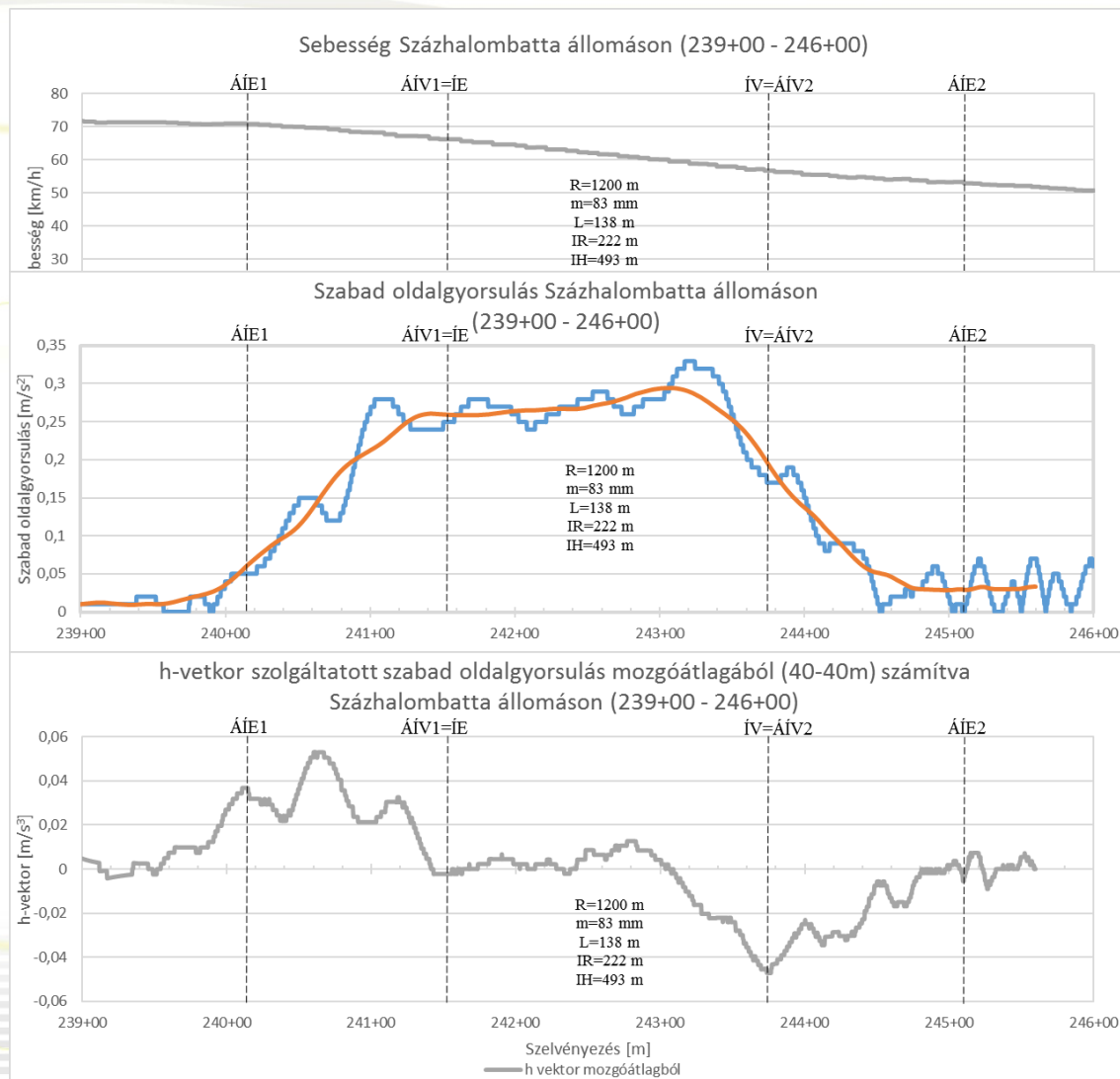
$$h_i = \frac{\Delta a_0}{\Delta t} = \frac{a_{0_i} - a_{0_{i-1}}}{\Delta s/v} = \frac{a_{0_i} - a_{0_{i-1}}}{0,25/v}$$

Elméleti képlettel számított értékek:

$$h_1 = \frac{V_{dtl,1}^3}{3,6^3 \cdot R \cdot d} = 0,24 m/s^3$$

$$h_2 = \frac{V_{dtl,2}^3}{3,6^3 \cdot R \cdot d} = 0,13 m/s^3$$

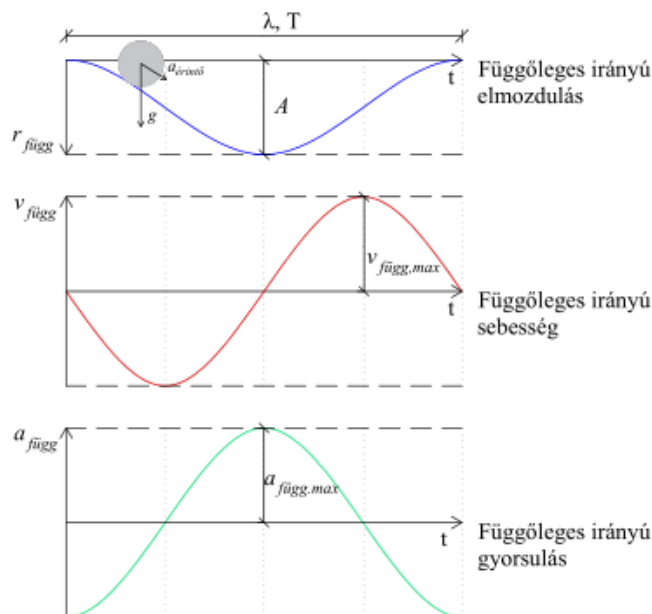
A szabad oldalgyorsulás változása átmenetiíves, túlemelt pályaívekben



Lokális fekszinthibán kialakult függőleges többletterhelés számítása

Közelítések:

- a vasúti pálya merev, függőleges síkbeli kiterjedésű
- a vasúti jármű pontszerű (rugózatlan)



Függőleges irányú elmozdulás:

$$r_{függ}(t) = \frac{A}{2} \cdot \cos\left(\frac{t}{T} \cdot 2\pi\right) - \frac{A}{2}$$

Függőleges irányú sebesség:

$$v_{függ}(t) = \frac{dr}{dt} = -\frac{\pi \cdot A}{T} \cdot \sin\left(\frac{t}{T} \cdot 2\pi\right)$$

Függőleges irányú gyorsulás:

$$a_{függ}(t) = \frac{dv}{dt} = -\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot A}{T^2} \cdot \cos\left(\frac{t}{T} \cdot 2\pi\right)$$

Függőleges többletterhelés számított értéke:

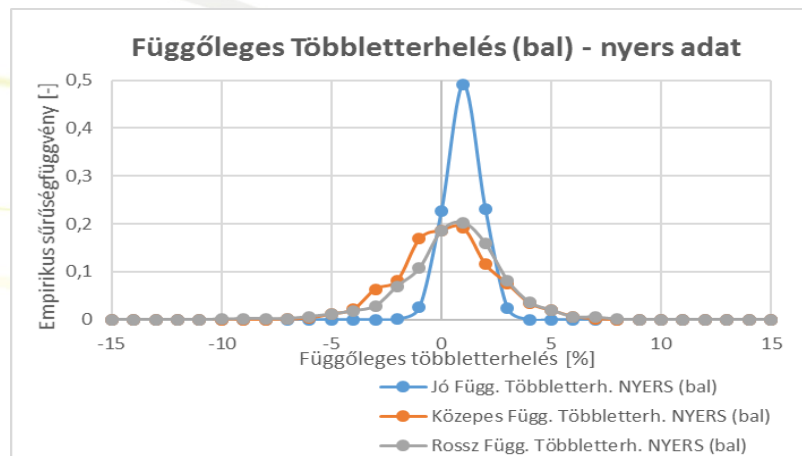
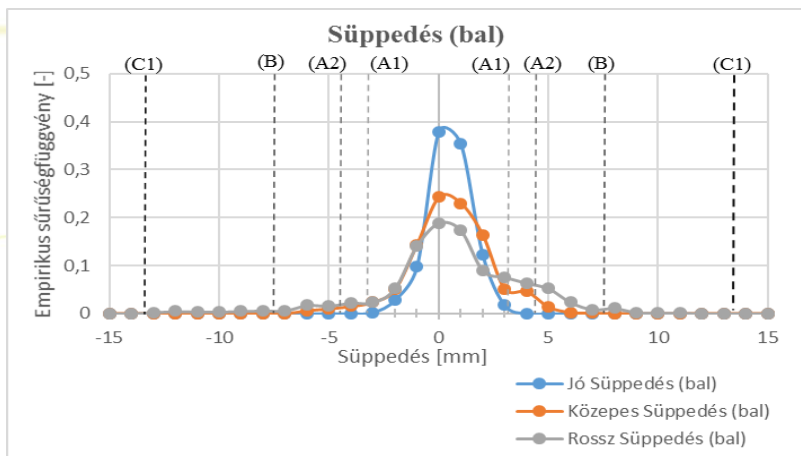
$$\beta = \frac{g + a_{függ,max}}{g} [\%]$$

A számított és a mért értékek közötti eltérések 12-16% közöttiek.

Süppedés és függőleges többletterhelés (szolgáltatott és nyers adatok)

Hasonló paraméterek:

Síktorzulás, siklásbiztonsági jellemző és kiegészítő siklásbiztonsági jellemző (szolgáltatott adatok)



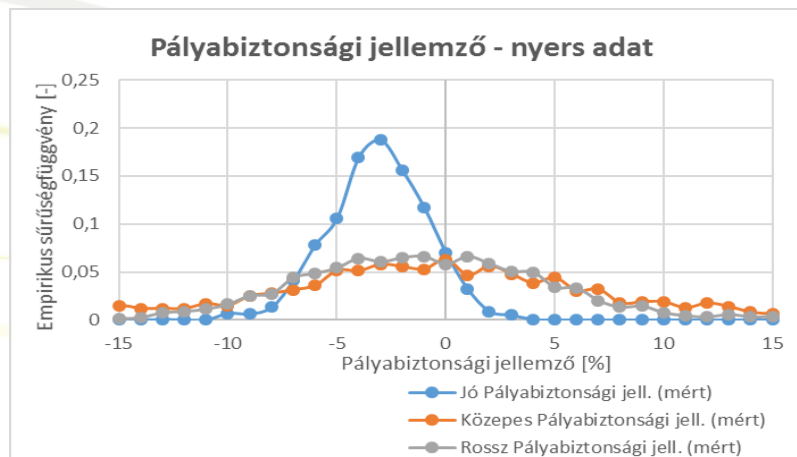
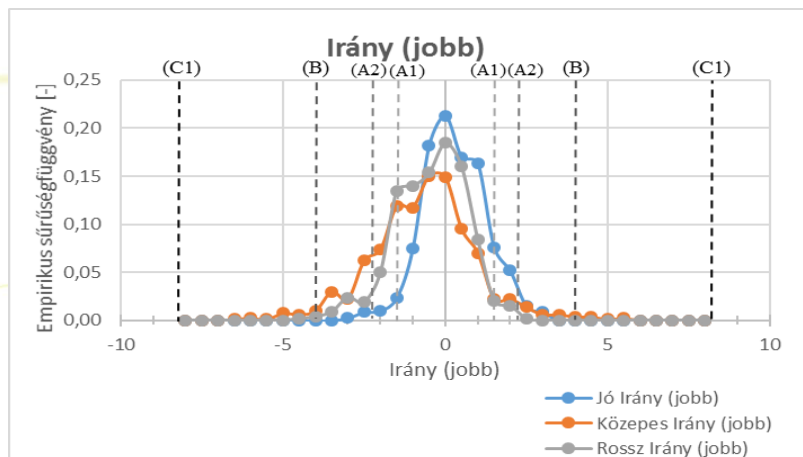
Süppedés	SAD [dm ²]	Süppedés ter. mérőszám [dm ²]	minimum [mm]	maximum [mm]	várható érték [mm]	szórás [mm]	5%-os szignifikancia [mm]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	18,08	-3,19	2,94	0,000	0,945	1,890
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	38,75	-6,55	6,57	0,023	1,864	3,728
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	69,93	-13,76	10,07	0,040	3,296	6,591

Függőleges többletterhelés (nyers adatok)	SAD [dm ²]	Süppedés ter. mérőszám [dm ²]	minimum [%]	maximum [%]	Várható érték [%]	Szórás [%]	5%-os szignifikancia [%]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	18,08	-2,31	2,77	0,487	0,769	1,538
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	38,75	-7,14	6,38	-0,265	2,099	4,197
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	69,93	-10,13	7,59	0,062	2,213	4,426

Süppedés	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	11,00%	2,75%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	27,00%	15,38%	4,13%	0,25%	0,00%	0,00%

Függőleges többletterhelés (nyers adat)	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Irány, SUM Y és pályabiztonsági jellemző (Szolgáltatott és nyers adatok)



Irány (jobb)	SAD [dm ²]	Irány ter. mérőszám [dm ²]	minimum [mm]	maximum [mm]	Várható érték [mm]	Szórás [mm]	5%-os szignifikancia [mm]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	21,66	-3,48	2,87	0,039	0,976	1,952
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	31,40	-6,58	5,21	-0,901	1,603	3,206
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	25,52	-4,62	2,30	-0,718	1,103	2,205

Pályabiztonsági jellemző (nyers adat)	SAD [dm ²]	Irány ter. mérőszám [dm ²]	minimum [%]	maximum [%]	Várható érték [%]	Szórás [%]	5%-os szignifikancia [%]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	21,66	-13,23	3,28	-3,638	2,236	4,472
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	31,40	-24,52	20,85	-0,782	7,301	14,602
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	25,52	-24,49	23,66	-1,452	5,818	11,636

Irány (jobb)	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	14,04%	2,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	42,38%	21,38%	3,62%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	28,88%	8,00%	0,50%	0,00%	0,00%	0,00%

Pályabiztonsági jellemző (nyers adat)	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

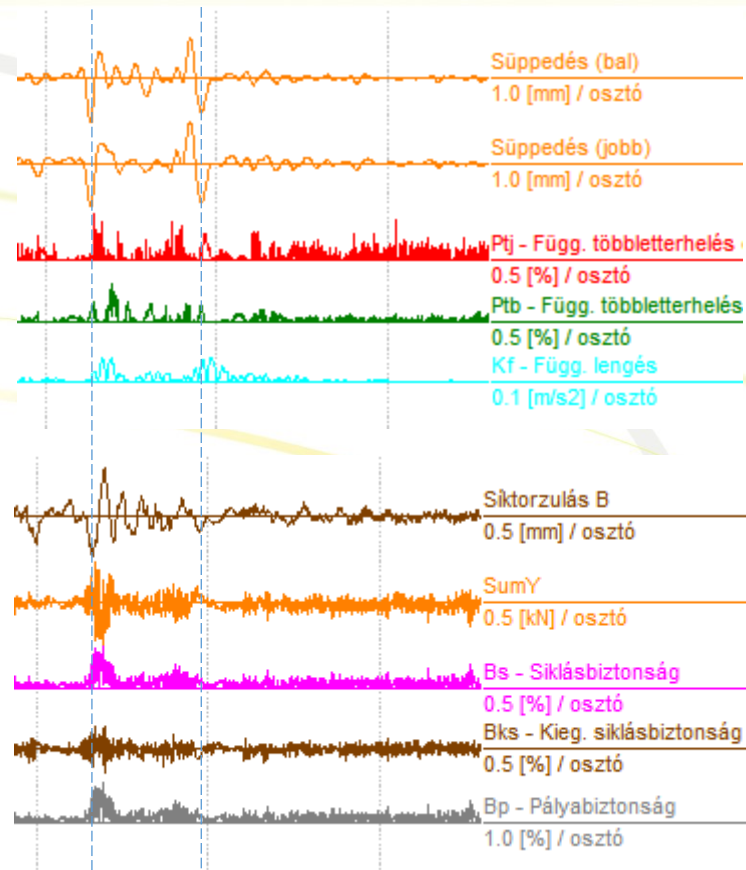
Pályaobjektumok környezetében kialakult lokális hibahelyek jellegzetességei

Vizsgált Pályaobjektumok:

- szigetelt sínillesztések
- kitérők
- hidak
- útátjárók

Vágánygeometriai és járműdinamikai paraméterek összefüggései:

- Süppedés → Függőleges többletterhelés, függőleges lengés
- Síktorzulás → SUM Y, siklásbiztonság, pályabiztonság



Összegzés

A pályaívek közelítő kinematikai vizsgálata:

- Járműszekrényen elhelyezett gyorsulásmérők által mért adatok
- Szoros kapcsolat áll fenn a számított és a szolgáltatott adatok között
- Előjelhelyes szabad oldalgyorsulás adat többletinformációkat tartalmaz
- A szabad oldalgyorsulás a legtöbb vágánygeometriai paramétertől függ

Homogén egyenes szakaszok statisztikai vizsgálata:

- A vágánygeometriai paraméterek esetén az eltérő pályaállapotú szakaszok jól elkülönülnek
- A járműdinamikai paraméterek esetén csak a jó pályaállapotú szakasz különül el
- A szolgáltatott járműdinamikai adatok – pozitív jellegük miatt – nem minden esetben tükrözik jól a pályaállapotot

Pályaobjektumok környezetében kialakult lokális hibahelyek jellegzetességei:

- Süppedések esetén függőleges többletterhelés és függőleges lengés alakul ki
- Eltérő mértékű süppedések, síktorzulások hasonlóságot mutatnak a SUM Y, a siklásbiztonsági és pályabiztonsági jellemzőkkel
- Az irány paraméterek csak nagyobb pályahibák esetén mutatnak hasonlóságot a SUM Y paraméterrel

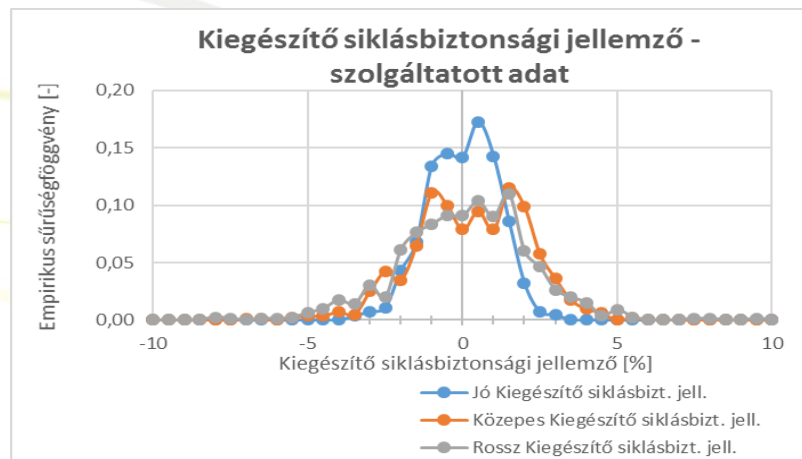
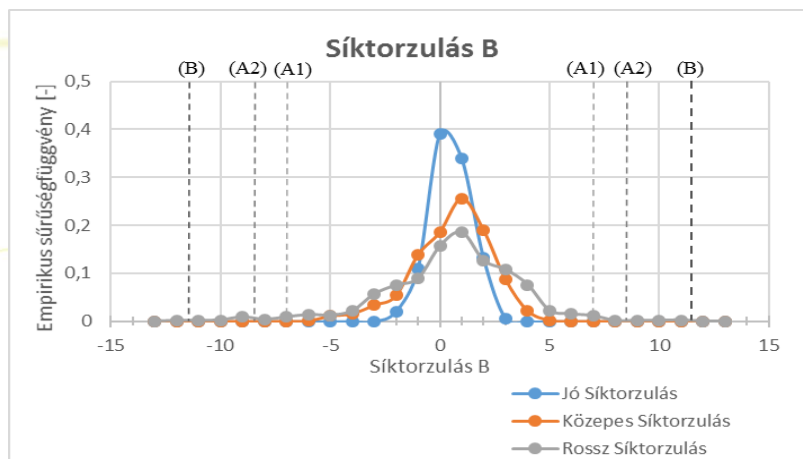
További kutatási lehetőségek

- A. Az FMK-007 mérőkocsi szolgáltatott szabad oldalgyorsulás adatainak eltolódása**
A szolgáltatott és számított szabad oldalgyorsulás adatok egymáshoz képesti eltolódásának oka további kutatást igényel.
- B. A h-vektor pontos meghatározása túlemelt pályáívek esetén**
A h-vektor értékének pontos meghatározása átmenetiíves, túlemelt pályáív esetén további kutatást igényel.
- C. A mérési sebesség hatása a járműdinamikai igénybevételekre**
Azonos szakaszokon végzett eltérő sebességű mérések alapján megállapítható lenne a járműdinamikai mérés sebességfüggése.
- D. A pálya állapotának hatása a járműdinamikai igénybevételekre**
Az általam vizsgált szakaszokon csak a „jó” pályaalapotú szakasz különült el, míg a „közepes” és „rossz” szakaszok nem mutattak nagy eltérést, célszerű lenne szélsőségesebb esetek vizsgálata.
- E. A süppedés és a jármű különböző szerkezeti elemein mért függőleges lengés kapcsolata**
Függőleges lengés csillapodásának vizsgálata.
- F. Szolgáltatott járműdinamikai paraméterek értéktartományai**
Az egyes szolgáltatott járműdinamikai paraméterek csak pozitív és nulla értéktartományainak felülvizsgálata.
- G. A járműdinamikai mérés függőleges gyorsulás adatainak vizsgálata**
A süppedés és a járműdinamikai mérés nyers függőleges kerékpárgyorsulásainak összefüggéseinek vizsgálata.
- H. Függőleges többletterhelés további függéseinek vizsgálata**
Hullámos kopás és alépítményi hibák hatása a függőleges többletterhelésre.

Köszönöm megtisztelő figyelmüket!



Síktorzulás, siklásbiztonsági jellemző és kiegészítő siklásbiztonsági jellemző (szolgáltatott adatok)



Síktorzulás B (6m)	SAD [dm ²]	Síktorzulás ter. mérőszám [dm ²]	minimum [mm]	maximum [mm]	Várható érték [mm]	Szórás [mm]	5%-os szignifikancia [mm]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	26,61	-2,97	2,24	-0,033	0,913	1,826
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	49,90	-6,40	4,13	0,023	1,767	3,535
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	78,32	-12,08	10,64	0,034	2,964	5,927

Kiegészítő siklásbiztonsági jellemző (szolgáltatott adat)	SAD [dm ²]	Síktorzulás ter. mérőszám [dm ²]	minimum [%]	maximum [%]	Várható érték [%]	Szórás [%]	5%-os szignifikancia [%]
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	22,12	26,61	-3,65	2,95	-0,253	1,118	2,236
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	40,01	49,90	-7,00	5,30	0,022	1,843	3,686
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	57,92	78,32	-8,25	9,32	-0,149	2,088	4,177

Síktorzulás B (6m)	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	3,25%	1,88%	0,25%	0,00%	0,00%	0,00%

Kiegészítő siklásbiztonsági jellemző (szolgáltatott adat)	A1	A2	B	C1	C2	C3
Jó szakasz (224+00 - 222+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Közepes szakasz (514+00 - 516+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rossz szakasz (608+00 - 610+00)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Lokális fekszinthibán kialakult függőleges többletterhelés számítása

Összefoglaló táblázat:

Szelvény	A [mm]	L [m]	V [km/h]	T [s]	$v_{\text{függ,max}}$ [m/s]	$a_{\text{függ,max}}$ [m/s ²]	számított többletterhelés [%]	mért többletterhelés [%]
374+15	17,30	11,50	113,68	0,36	0,15	2,57	26,24	22,73
215+74	17,38	5,25	101,86	0,40	0,14	2,17	22,12	19,24
591+59	13,28	10,25	100,37	0,37	0,11	1,94	19,77	23,59
381+00	28,35	10,25	73,74	0,50	0,18	2,23	22,78	18,97
374+00	55,26	11,25	75,13	0,54	0,32	3,75	38,26	32,45