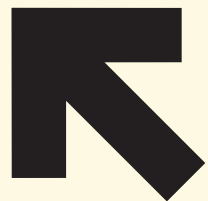




Dr. Hartványi Tamás

MFAV járművek vázszerkezetének vizsgálata a várható élettartam meghatározása céljából



CITY RAIL 2023

2023. szeptember 6.



Tartalom

Előzmények

3

Mérések

7

Modellezés és szimuláció

27

Összegzés

37

The image features a light cream background with several abstract, thick, rounded lines. A red line starts at the top right and curves downwards. A green line starts from the left, curves downwards, and then continues horizontally. A blue line starts from the bottom, curves upwards, and then continues horizontally, overlapping the green line. There are two solid black circles: one on the green line and one on the blue line. A solid orange circle is positioned on the left side of the image.

Előzmények



4

Előzmények

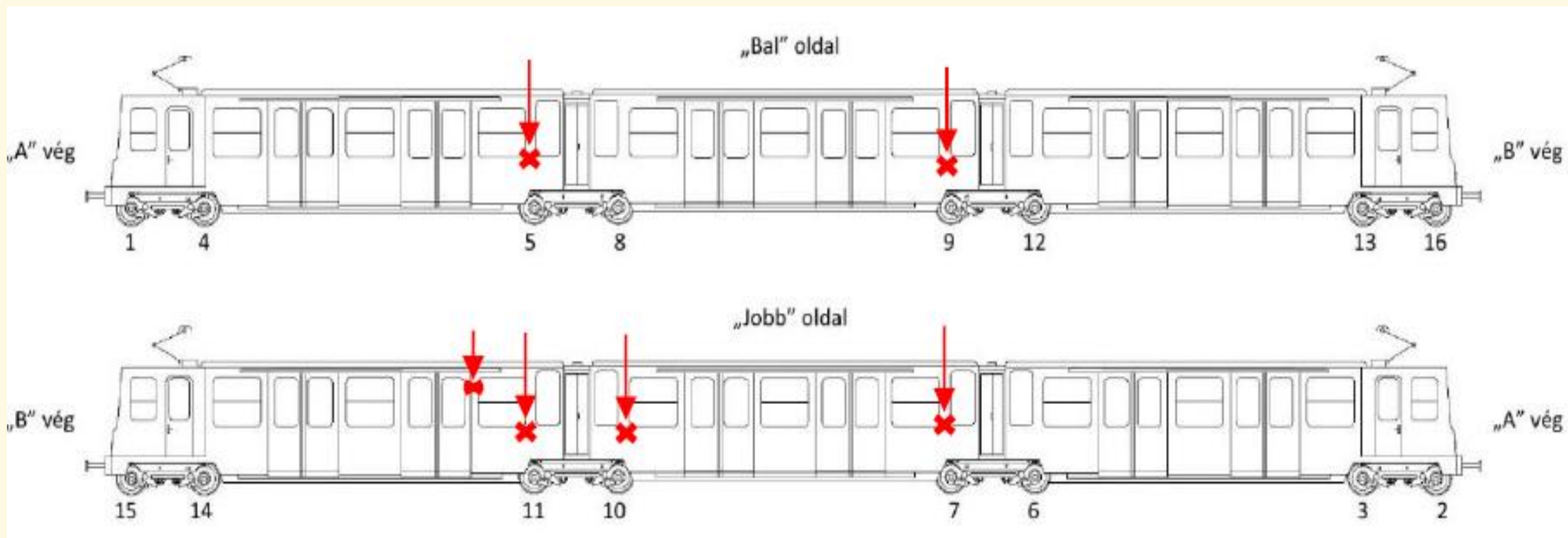
- **Üzembehelyezés:** 1973 (1986)
- Ganz „ipari csuklós” villamossal való hasonlóság
- **Gyártói várható élettartam:** 2.100.000km, vagy 30 év
- Futási és szilárdsági problémák szinte a kezdetektől
- A korábbi évek vizsgálatai: 1977, 1988, 2002
- **BKV vizsgálat repedésekre (2022):** a járműpark 78%-a érintett!



5

Előzmények

Jellemző repedési helyek





6

Előzmények



Repedési kép



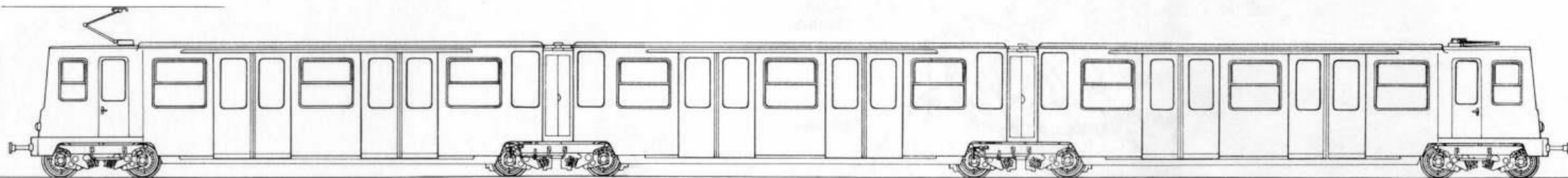
The image features a light cream background with several abstract, thick, rounded lines in green, blue, and red. A large orange circle is positioned on the left side. Two small black dots are placed on the green line, one at a curve and one at the end of a horizontal segment. The word 'Mérések' is centered in a bold, black, sans-serif font.

Mérések



8

A járművek



- A felépítmények közül a két szélső járműegység (A és B) az ún. „kutyacsontokon” támaszkodik fel az első és utolsó futó forgóvázakra.
- A hajtott középső – Jakobs – forgóvázak közvetlenül nem adnak oldalirányú megtámasztást, így a középső járműegység (C) önmagában oldalirányú megtámasztás nélküli.
- A megtámasztás alapsíkját a csuklóalagút viszi fel a tetőkapcsolathoz, ami az A – C – B járműegységek között a piskóta alakú idomokkal hozza létre a teljes járműszerkezetre merev kapcsolatot.





Mérési program

Dinamikus mérésorozat

- a forgalomban közlekedő jármű esetén a csatlási rendszer felső megtámasztási pontján átadódó erőkomponensek eloszlásfüggvényének meghatározása,
- a járműszerkevény hibajelenség szempontjából kritikus pontjainak három irányú gyorsulásainak meghatározása,
- a dinamikus hatások nyomán ébredő többletfeszültségek átviteli függvényeinek valódi körülmények között való meghatározása, ellenőrzése, és a jelenség szempontjából kritikus csomópont viselkedésének jobb megismerése

Statikus mérésorozat

- a repedésképek tényleges alakulásának figyelembevétele alapján kritikusnak vélt pontokban a repedésekhez vezető (fő) feszültségek és a csatlási rendszer felső megtámasztási pontján átadódó vízszintes hosszirányú (X), vízszintes keresztirányú (Y) és függőleges (keresztirányú) (Z) erőkomponensek összefüggésének feltárása.
- A cél ekkor tehát a csatlás felső elemében (a “piskótán” keresztül) ható erők és az azok nyomán keletkező feszültségek közötti átviteli függvények meghatározása.

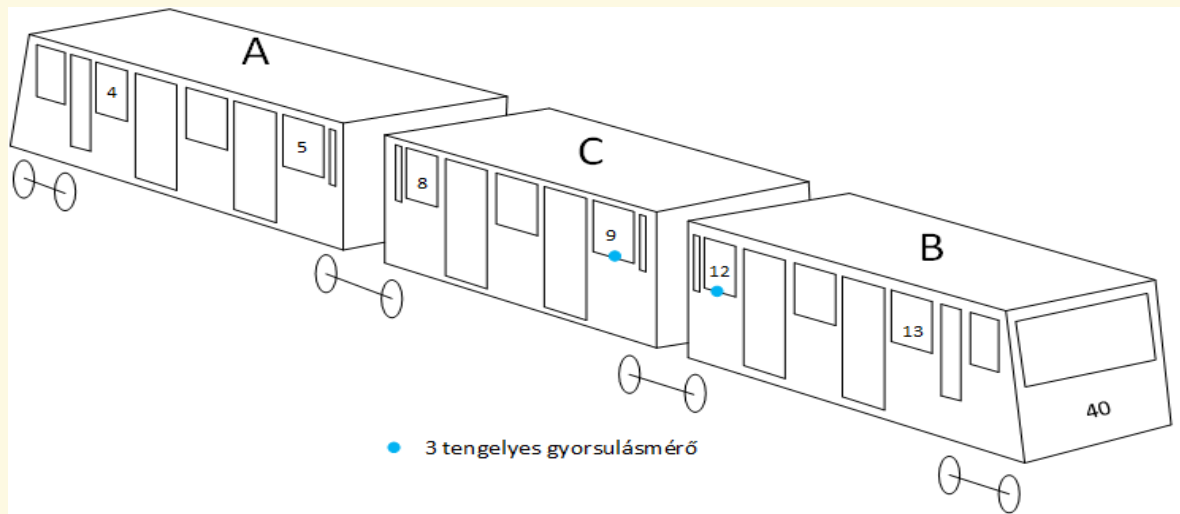
**10**

1. Mérés (2022.12.10.)

- A mérés célja a 40-es pályaszámú **járművet érő dinamikus erőhatások és azoknak a járműszerkezetre gyakorolt hatásainak feltárása**, műterheléssel végzett futáspróbák közben történő mérésekkel.
- A járműre felszereltük az ezt megelőzően felbélyegzett és bekalibrált, a járműegységek felső kapcsolatát biztosító mindkét összekötő („piskóta”) idomot.
- A szerelvénnnyel minden állomáson megálltunk, ajtókat nyitottunk és az utastájékoztatót is elindítottuk.
- A gyorsulásmérők és a piskóta idomok regisztrálása minden mérésben megtörtént.

**11**

1. Mérés (2022.12.10.)



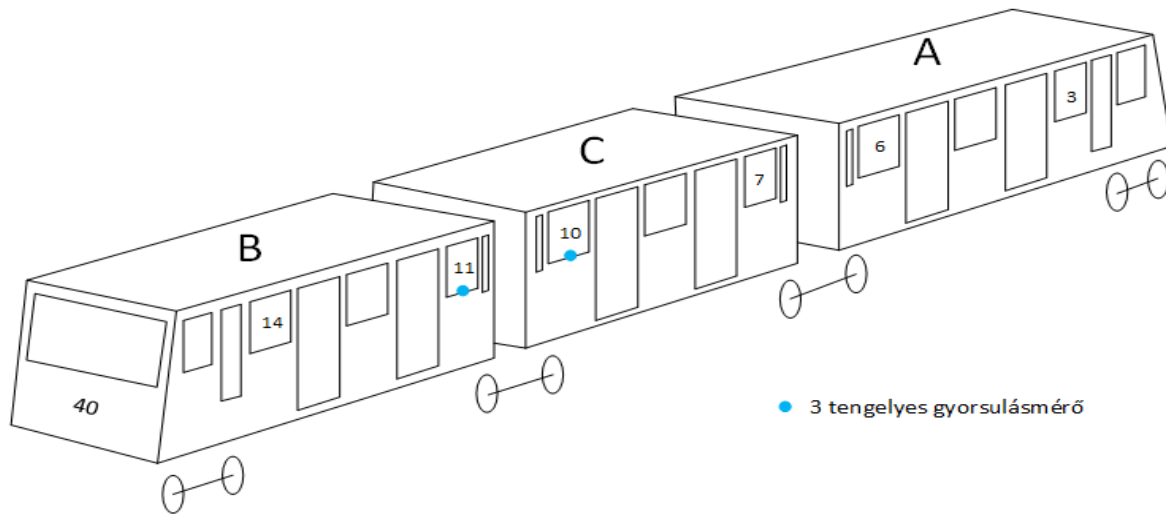
Gyorsulásmérők felhelyezése

„B” járműszekrény

- 11-es ablak párkánya
- 12-es ablak párkánya

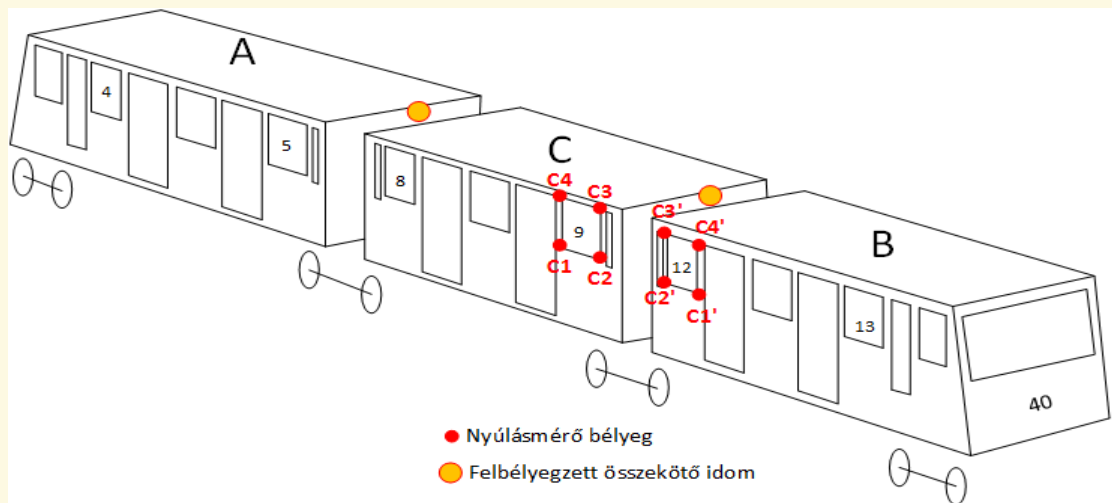
„C” járműszekrény

- 9-es ablak párkánya
- 10-es ablak párkánya

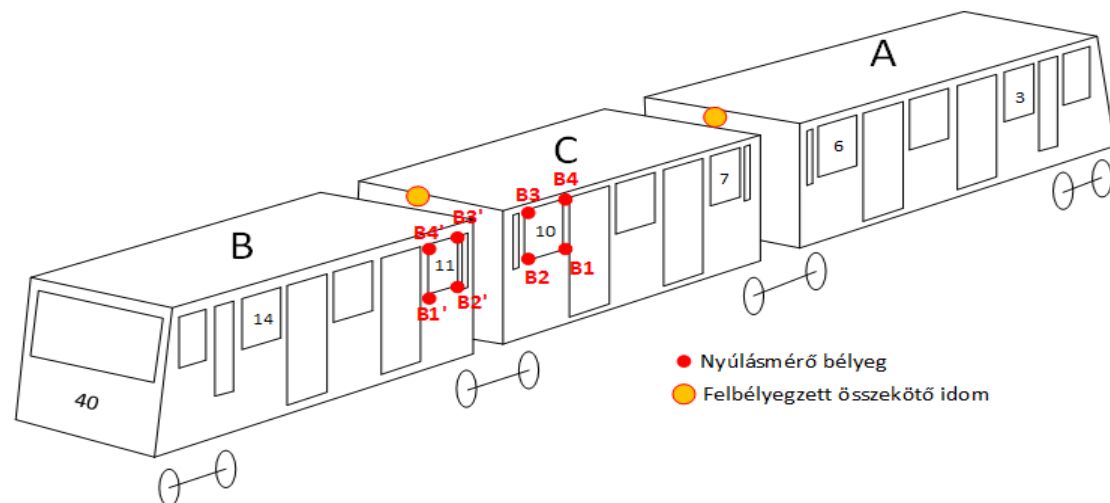


**12**

1. Mérés (2022.12.10.)



● Nyúlásmérő bélyeg
● Felbélyezett összekötő idom



● Nyúlásmérő bélyeg
● Felbélyezett összekötő idom

Nyúlásmérő bélyegek felhelyezése

„B” járműszekrény

- 11-es ablak minden sarkához kívülről, az oldallemezhez történő ragasztással
- 12-es ablak minden sarkához kívülről, az oldallemezhez történő ragasztással

„C” járműszekrény

- 9-es ablak minden sarkához kívülről, az oldallemezhez történő ragasztással
- 10-es ablak minden sarkához kívülről, az oldallemezhez történő ragasztással

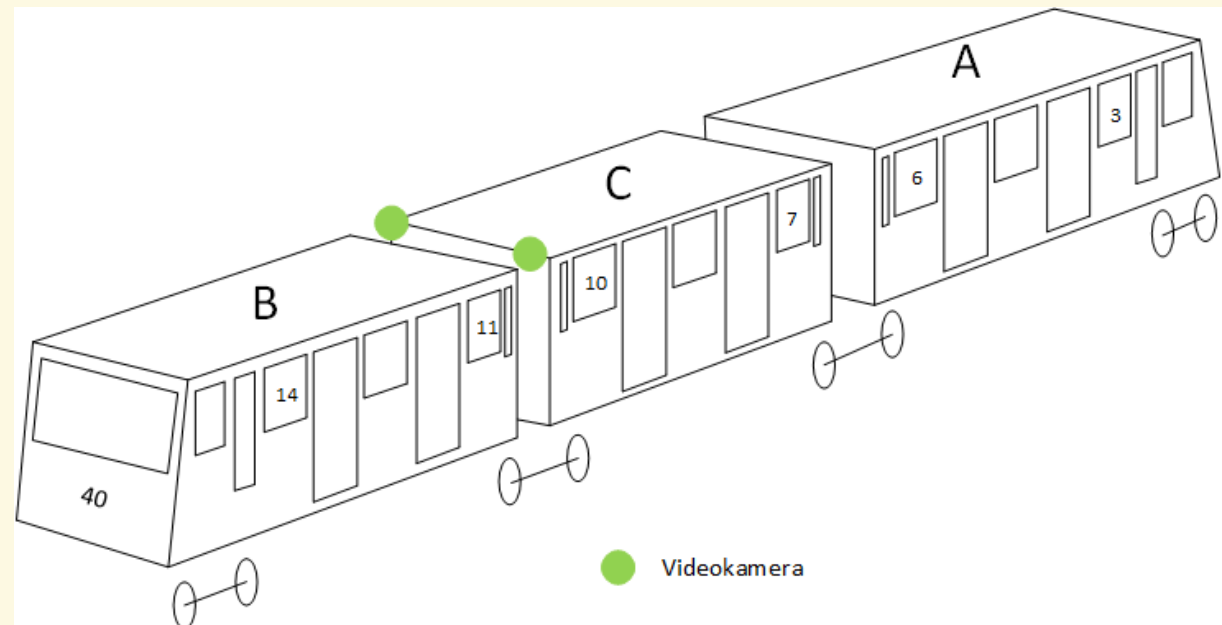
**13**

1. Mérés (2022.12.10.)



Kamerák felhelyezése

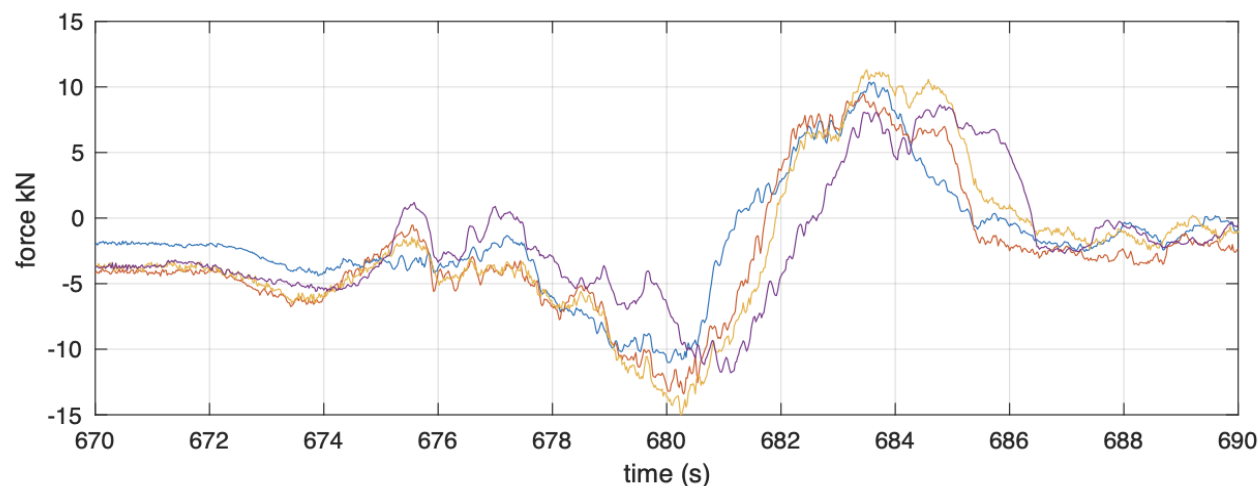
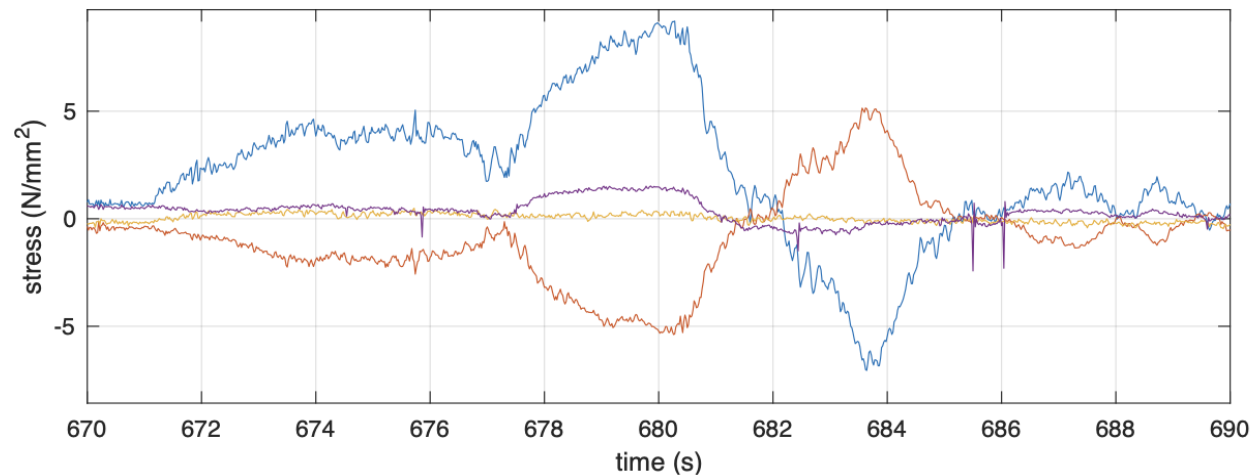
A járműszekrények felső kapcsolatainak mozgóképes megfigyelése céljából a B-C kapcsolathoz jobb- és baloldaltól egyaránt egy-egy videokamera került felszerelésre.





14

1. Mérés (2022.12.10.)



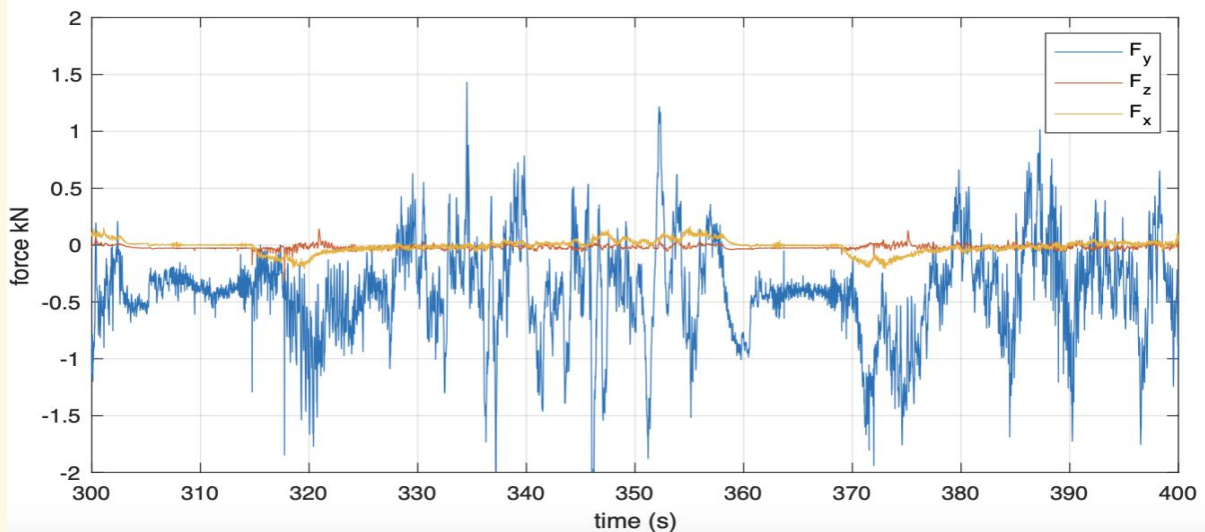
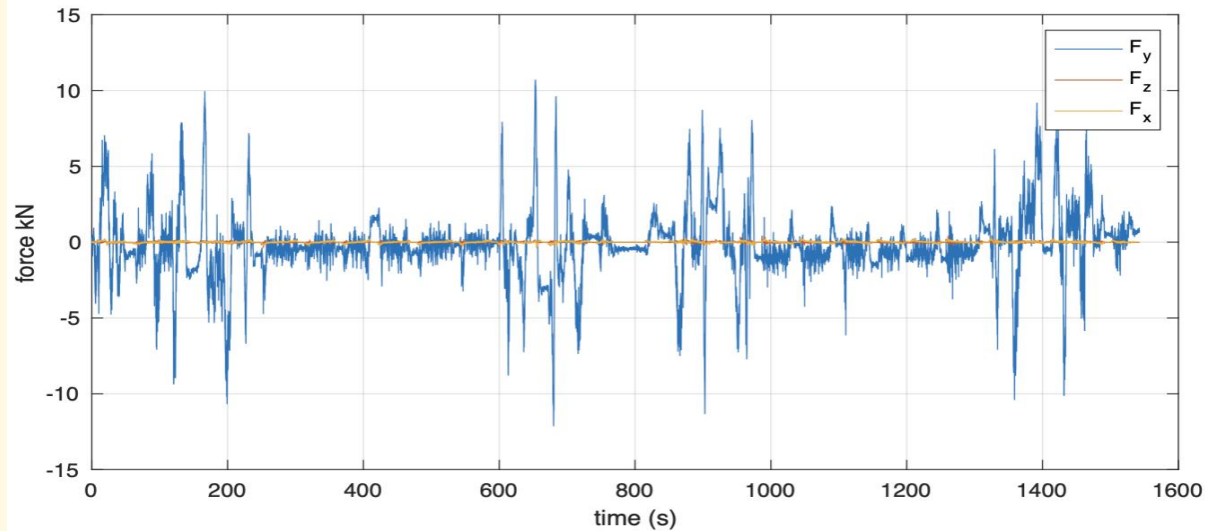
A feszültség és erő változások nem impulzus-, rezgés-, vagy lengésszerűek, hanem lassan, 4-5 s alatt épülnek fel, majd ugyanennyi idő alatt csökkennek le, amint az az ábra kinagyított szakaszán jól látható, mind a feszültségek, mind az erők esetében.

Ez a pályáívekben alakul ki.



15

1. Mérés (2022.12.10.)



Az erők közül érdemi nagyságú ingadozásokat csak a keresztirányú erőkben tapasztaltunk, mint azt az ábra mutatja azonos skála mellett. Ez az ábra jól illusztrálja, hogy döntő szerepe – a tapasztalt probléma kapcsán – a keresztirányú erőknek lehet.

A felső járműkapcsolat működéséről végig videófelvétel készült.

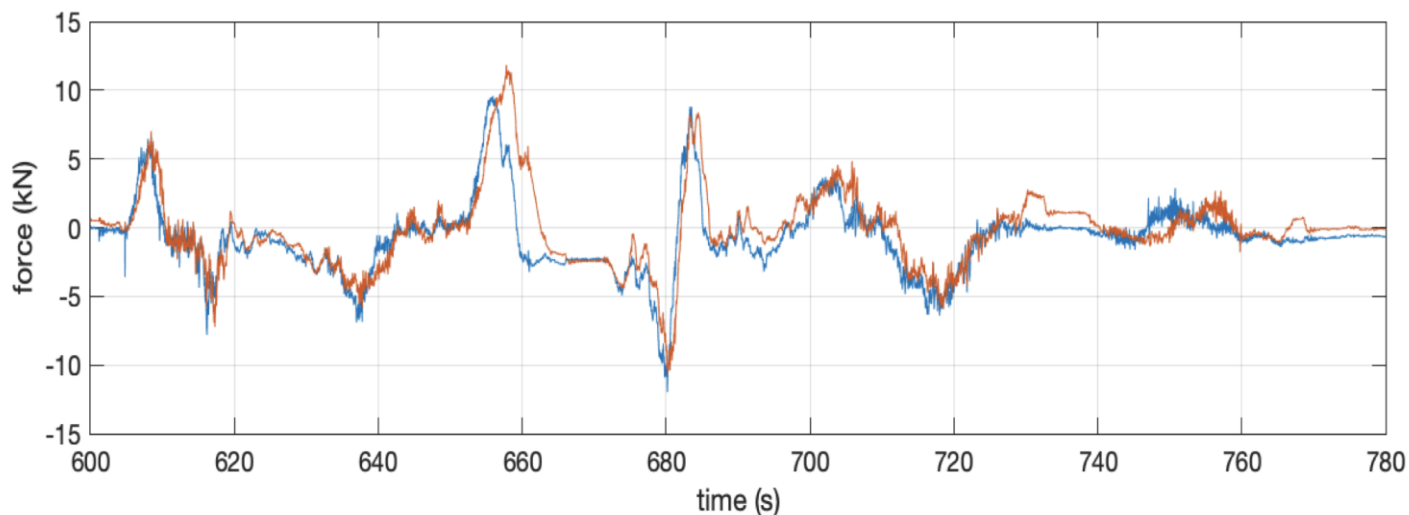
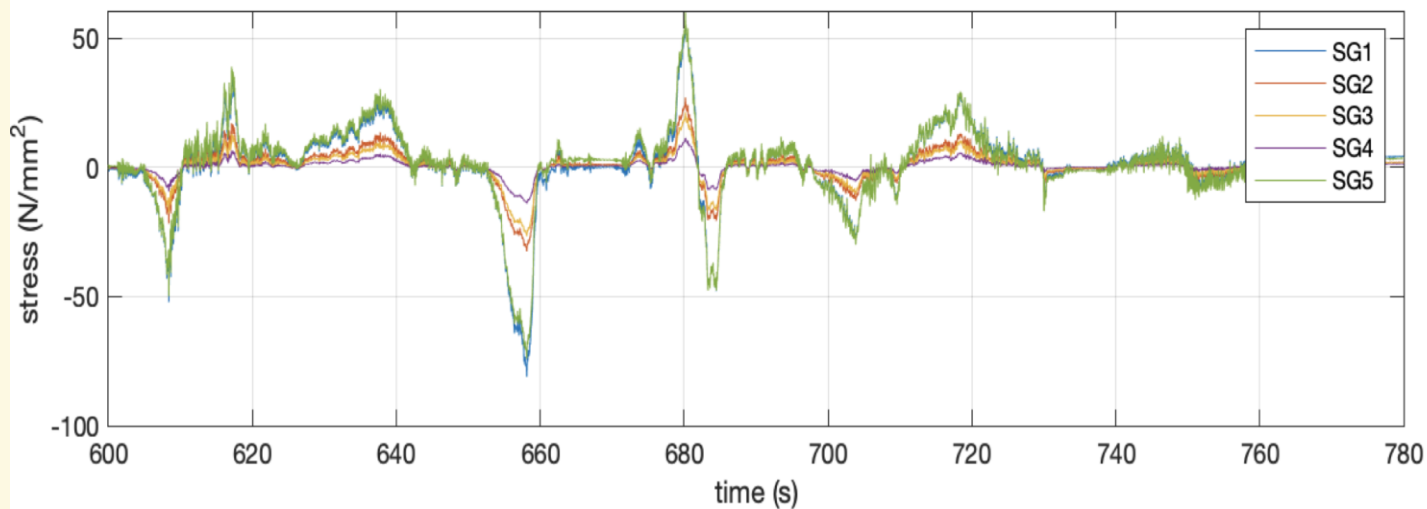
**16**

2. Mérés (2022.12.16.)

- A mérés célja a 40-es pályaszámú járművet érő **dinamikus erőhatások és azoknak a járműszerkezetre gyakorolt hatásainak pontosítása** műterhelés nélkül végzett futáspróbák közben történő mérésekkel.
- A szerelvénnel minden állomáson megálltunk, ajtókat nyitottunk és az utastájékoztatást is elindítottuk.
- A mérési sorozatban mind a 6 gyorsulásmérő és mindkét piskóta idom regisztrálása minden mérésnél megtörtént.
- A mérések kielégítő eredményt mutatnak, ezért további menetekre nem volt szükség.

**17**

2. Mérés (2022.12.16.)



Azokon a szakaszokon, ahol nagy feszültségek jelentkeznek, azok a “piskótákon” átadódó keresztirányú erőkkel korrelálnak, csakúgy, mint az első dinamikus mérés esetén.

Azt a megállapítást, hogy a járműszekrényeket az alkalmazott csatlási megoldás vízszintes értelemben merev testté kapcsolja össze, a vízszintes gyorsulások kocsinként vett átlagának majdnem tökéletes azonossága alátámasztja.



18

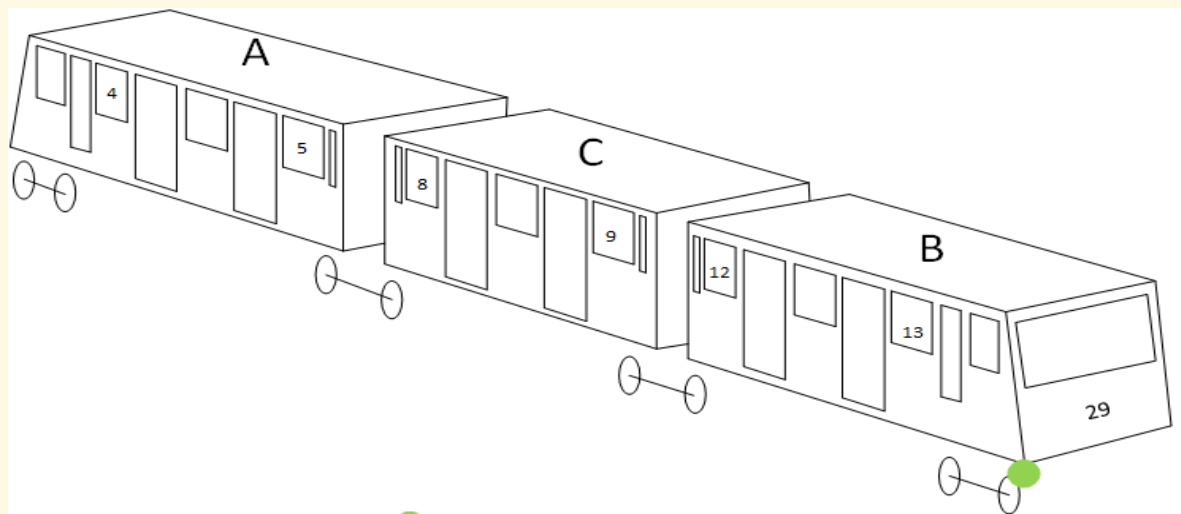
3. Mérés (2022.12.22.)

- A tevékenység célja a 29-es pályaszámú **járművet érő dinamikus erőhatások és azoknak a primer rugózásra gyakorolt hatásainak feltárása** üzem közben történő videofelvétellel.
- A mérés megkezdése előtt a 29-es pályaszámú jármű „B” végén, a 15-ös és 16-os kerékcsapoknál az úrszelvényen belül felszerelésre kerül egy-egy videokamera.
- A kamerák úgy kerültek rögzítésre, hogy a fenti kerékcsapok rugózási játékát menet közben fel tudják venni. A mérés üzemi körülmények között történt, utasforgalmi járművön.

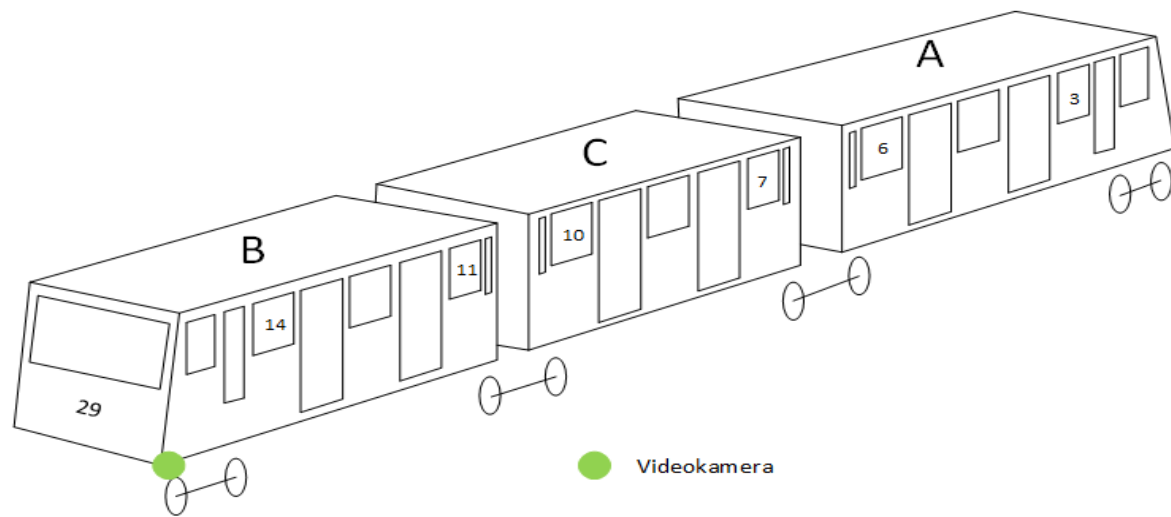


19

3. Mérés (2022.12.22.)



Videokamera



Videokamera

Videókamerák felszerelése





20

3. Mérés (2022.12.22.)

A mérés alapján az alábbi megállapításokat tesszük:

- A primer rugók rugóútjai esetenként a 30 mm-t is meghaladják, amiből megfelelő rugózásra lehet következtetni.
- A rugózásban alkalmazott gumirugók működése megfelelő, így a kétlépcsős rugózási karakterisztika valóban kialakul.
- [A primer rugózás működéséről videófelvétel készült.](#)





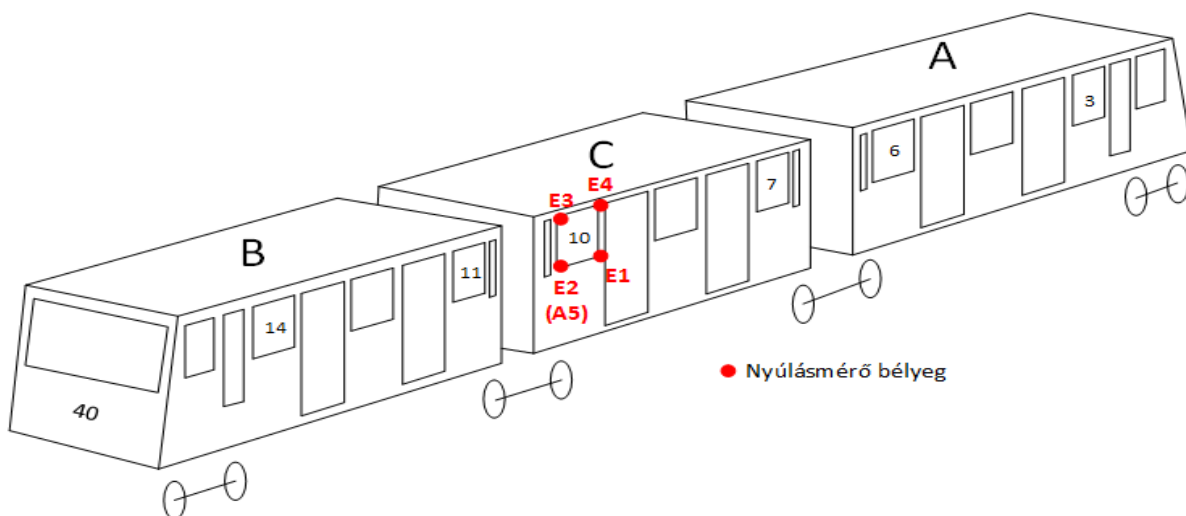
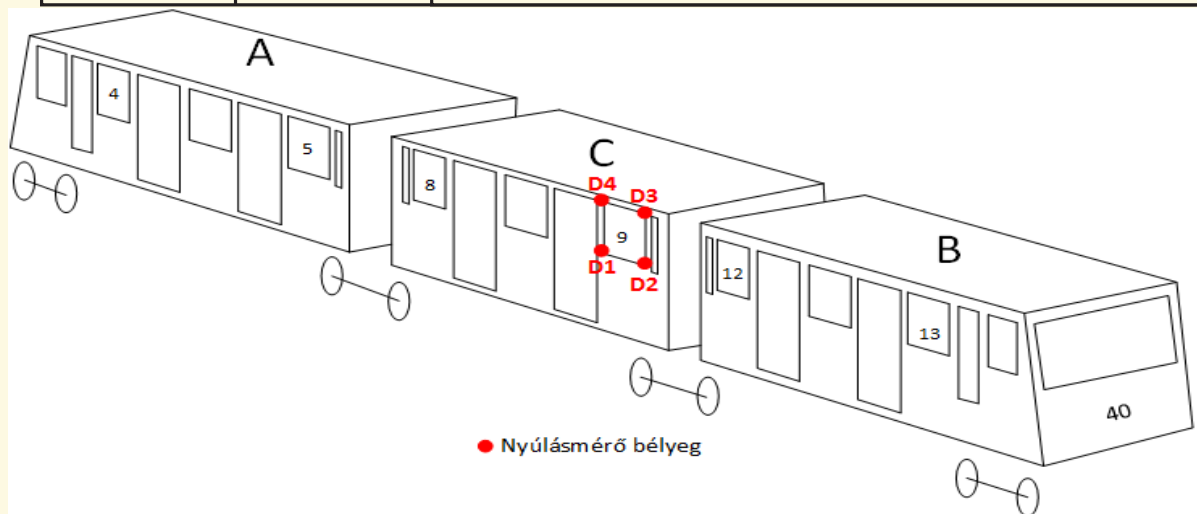
21

4. Mérés (2022.12.22.)

- A tevékenység célja a **felső konzolon keresztül való statikus normálerőkkel történő terhelés hatásainak vizsgálata** a járműszekrényen.
- A mérési sorozat három mérésből állt a normálerők irányai szerinti terheléseknek megfelelően:
 - X – menetirányban történő terhelés,
 - Y – a menet síkjában, a menetirányra merőlegesen történő terhelés,
 - Z – a menet síkjára merőlegesen történő terhelés
- A terhelési erőhatást menetes szárral fejtettük ki mindkét – húzott és nyomott – irányban. A kifejtett erőt a hatásvonalba épített erőmérő cellával mértük.

**22**

4. Mérés (2022.12.22.)



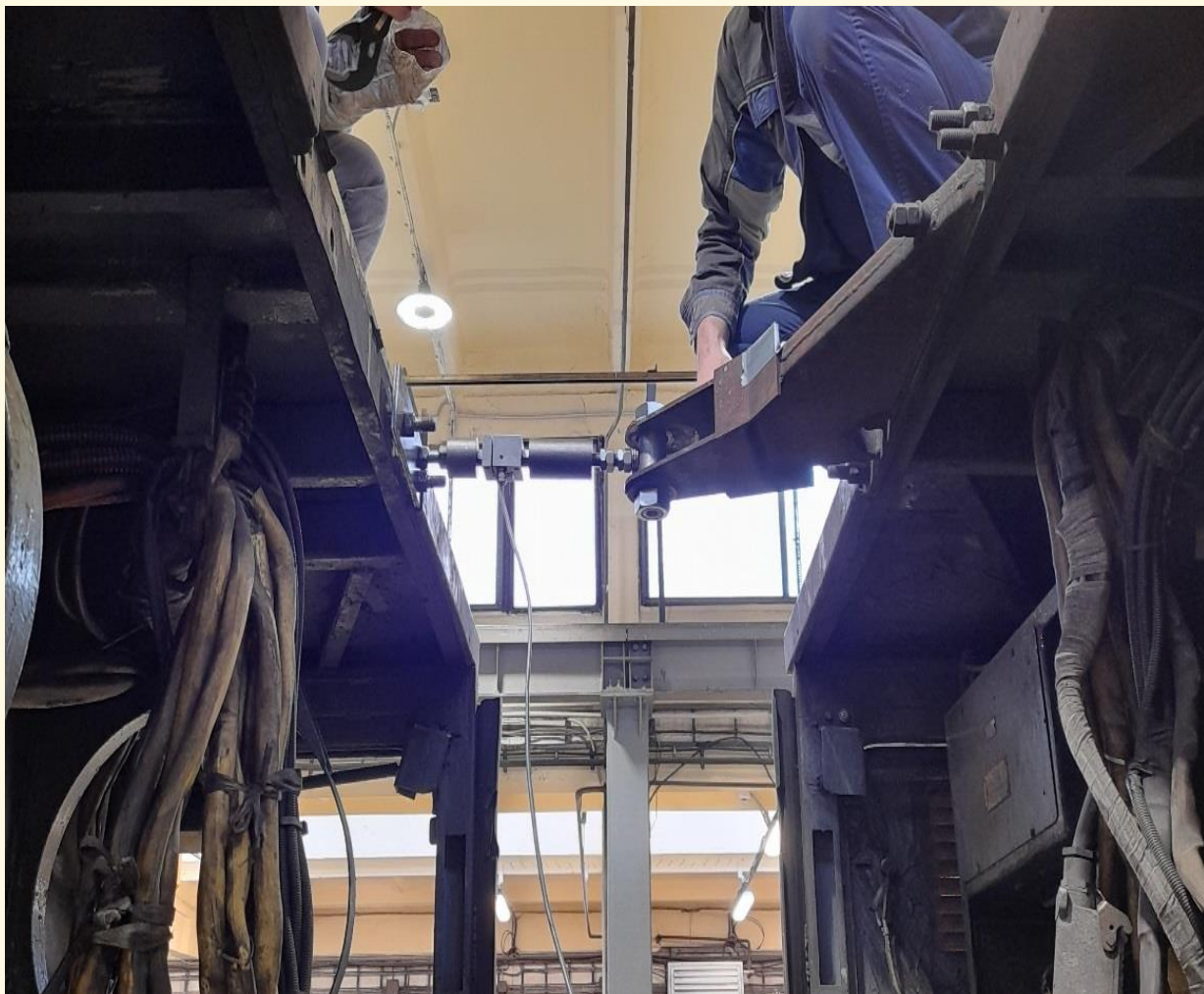
Nyúlásmérő bélyegek felhelyezése

- A statikus méréshez a C járműszekrény 9-es és 10-es ablakai lettek felbélyegezve. A bélyegek az ablakok íves sarkai ívközepére, a lemez szélétől kb. 10mm-re lettek kívülről felragasztva.
- A 10-es ablak E2 jelű bélyege megegyezik a 2022. december 15-én felragasztott A5 jelű bélyeggel.

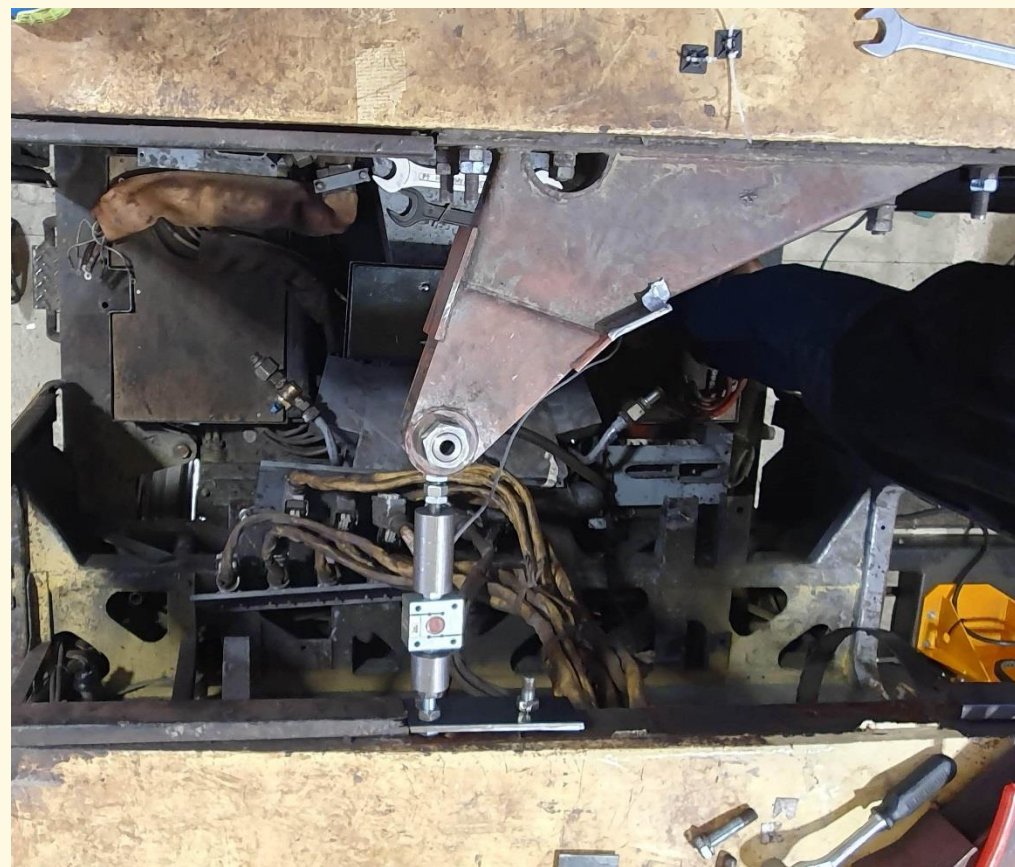


23

4. Mérés (2022.12.22.)



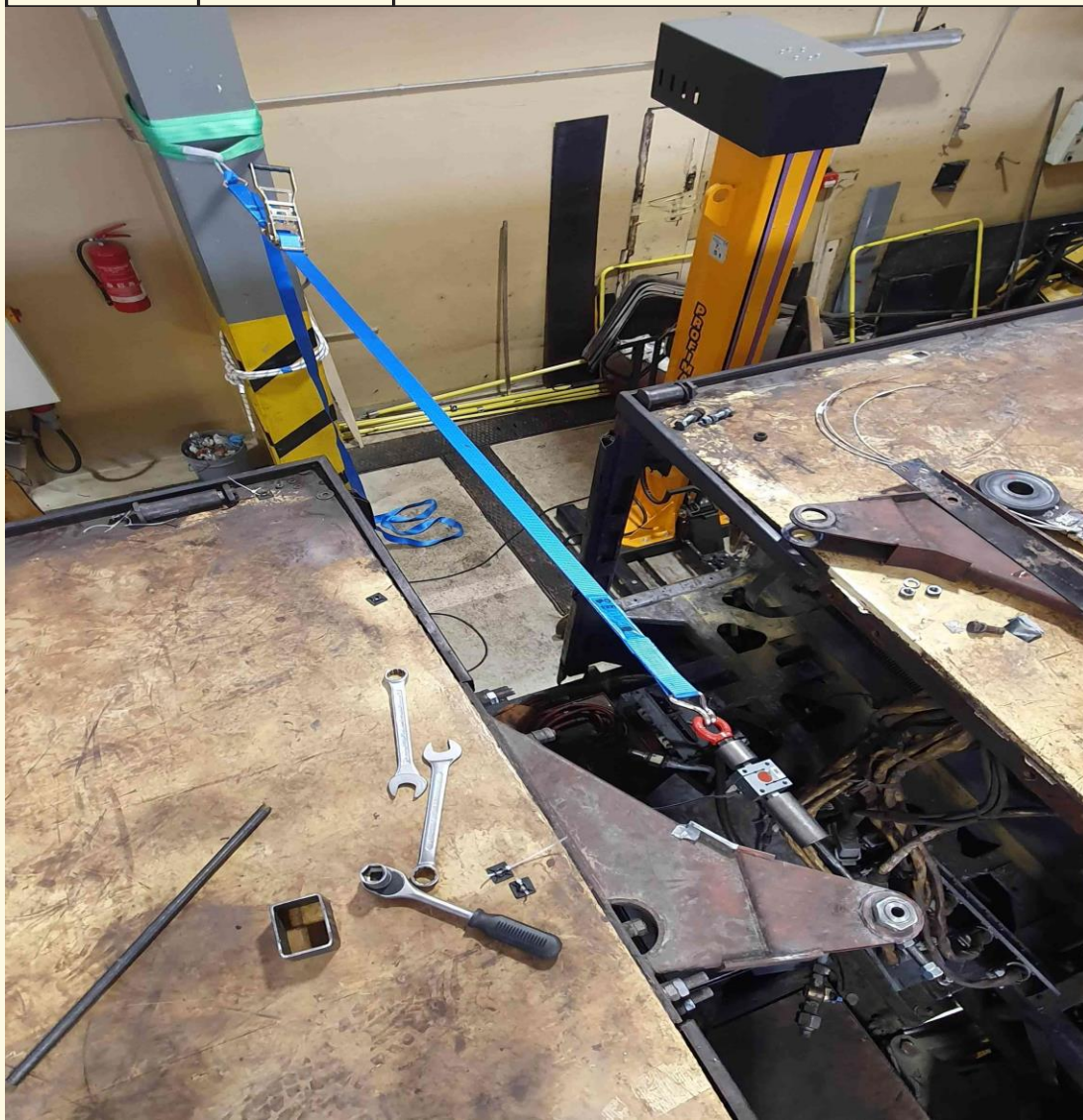
X-irányú erők mérési elrendezése



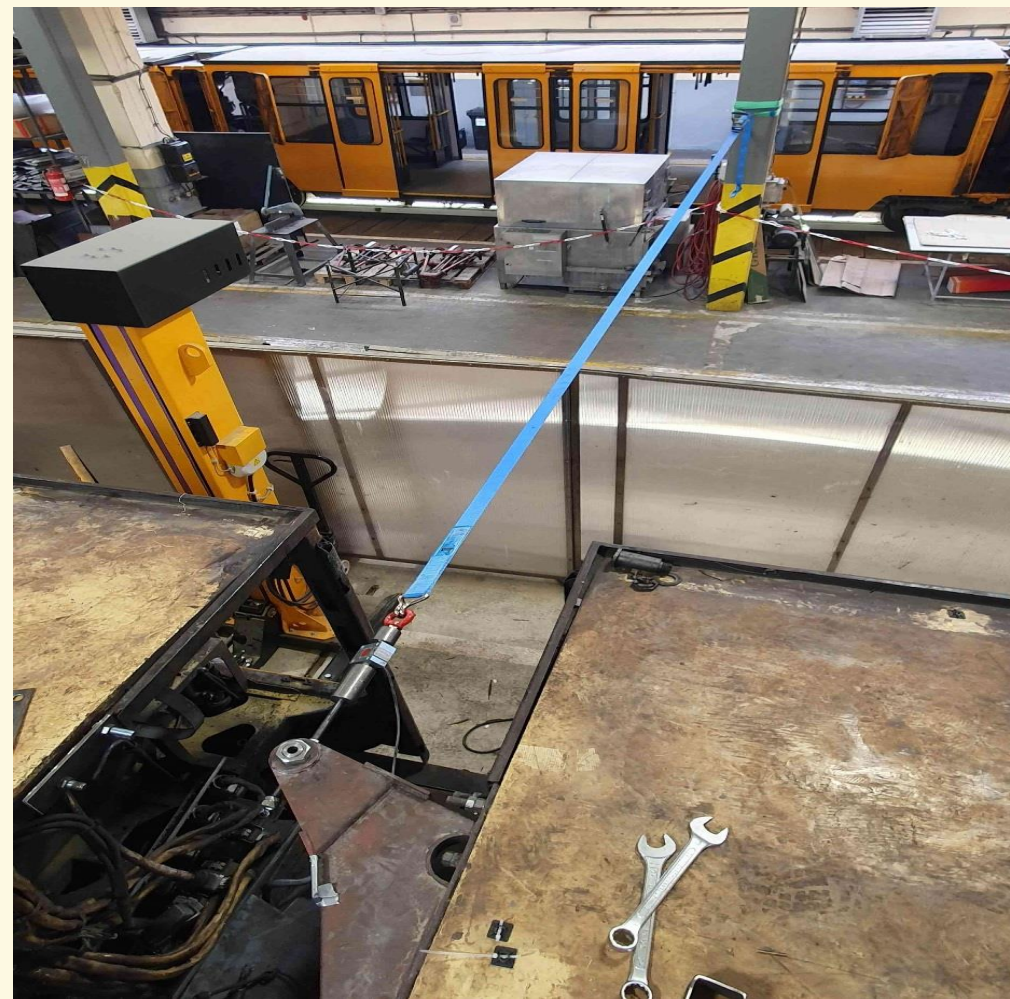


24

4. Mérés (2022.12.22.)



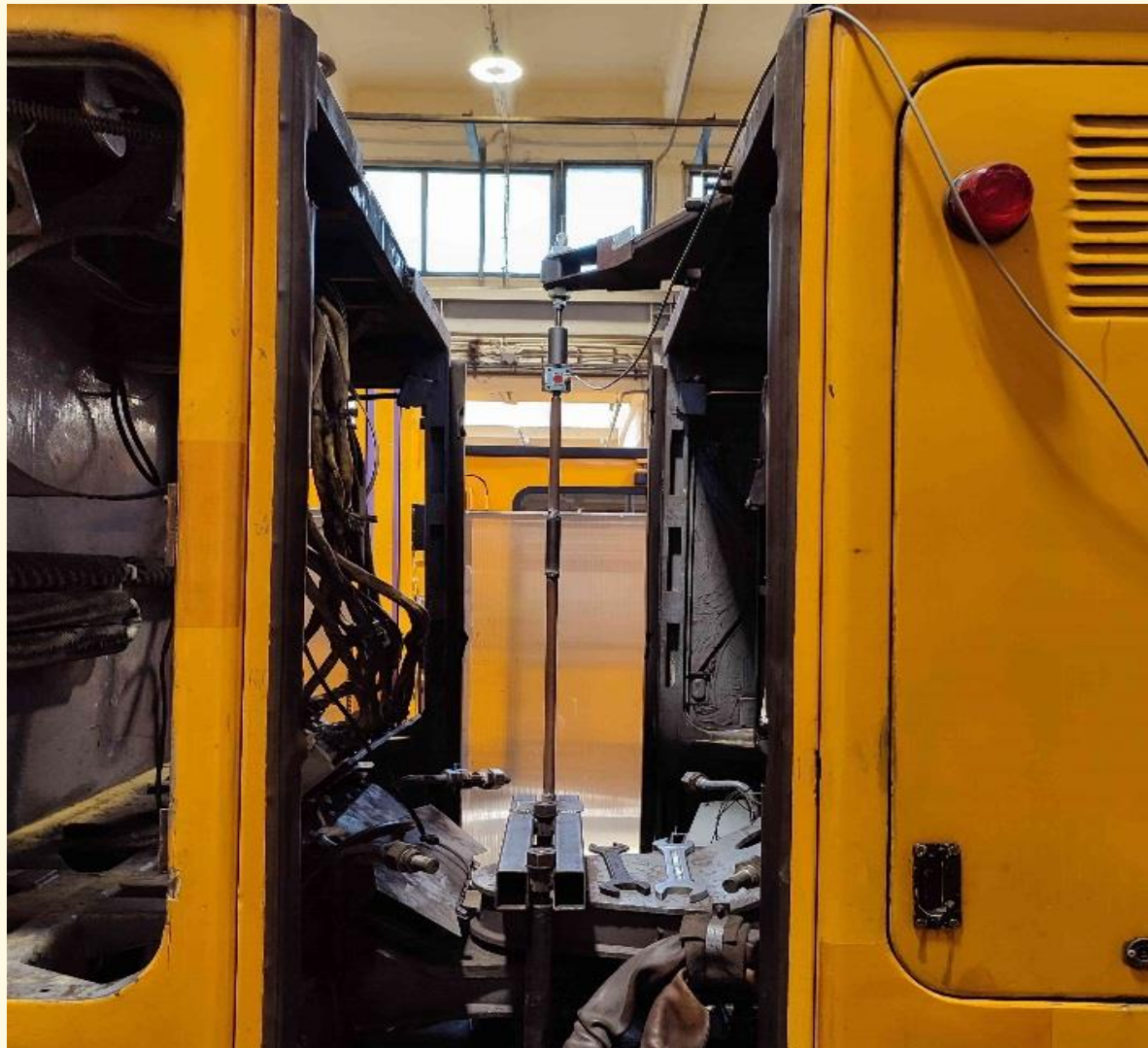
Y-irányú erők mérési elrendezése





25

4. Mérés (2022.12.22.)



Z-irányú erők mérési elrendezése



**26**

Mérések eredményei

1. A dinamikus mérések során beigazolódott, hogy vízszintes **hosszirányú (X) erők a tetőkapcsolaton keresztül nem tudnak átadódni.**
2. A dinamikus mérések során beigazolódott, hogy **jelentős keresztirányú (Y) erők adódnak át** az íves pályaszakaszokban a tetőkapcsolaton az egyes kocsiszekrények között.
3. A dinamikus mérések tapasztalatai alapján **függőleges (Z) erők a “piskótán” keresztül nem adódnak át.** A statikus mérések ugyanakkor igazolták, hogy még ha át is adódnának ilyen erők, az ezek hatására kialakuló feszültségnövekmények marginálisak lennének.
4. A dinamikus mérések eredményei alapján az is megállapítható, hogy a mért pontban fáradás szempontjából **kritikusnak tekinthető mértékű feszültségváltozások csak a pálya Mexikói út – Hősök tere és Bajcsy-Zsilinszky út – Vörösmarty tér szakaszain keletkeznek**, az egyenes szakaszokon nem.
5. **A jármű primer rugózása megfelelő.**

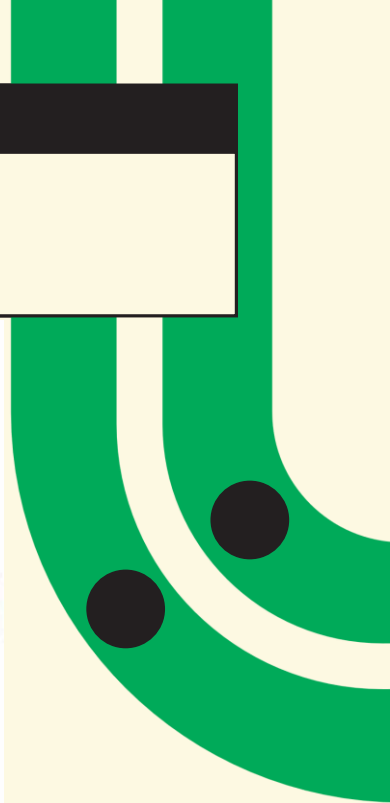
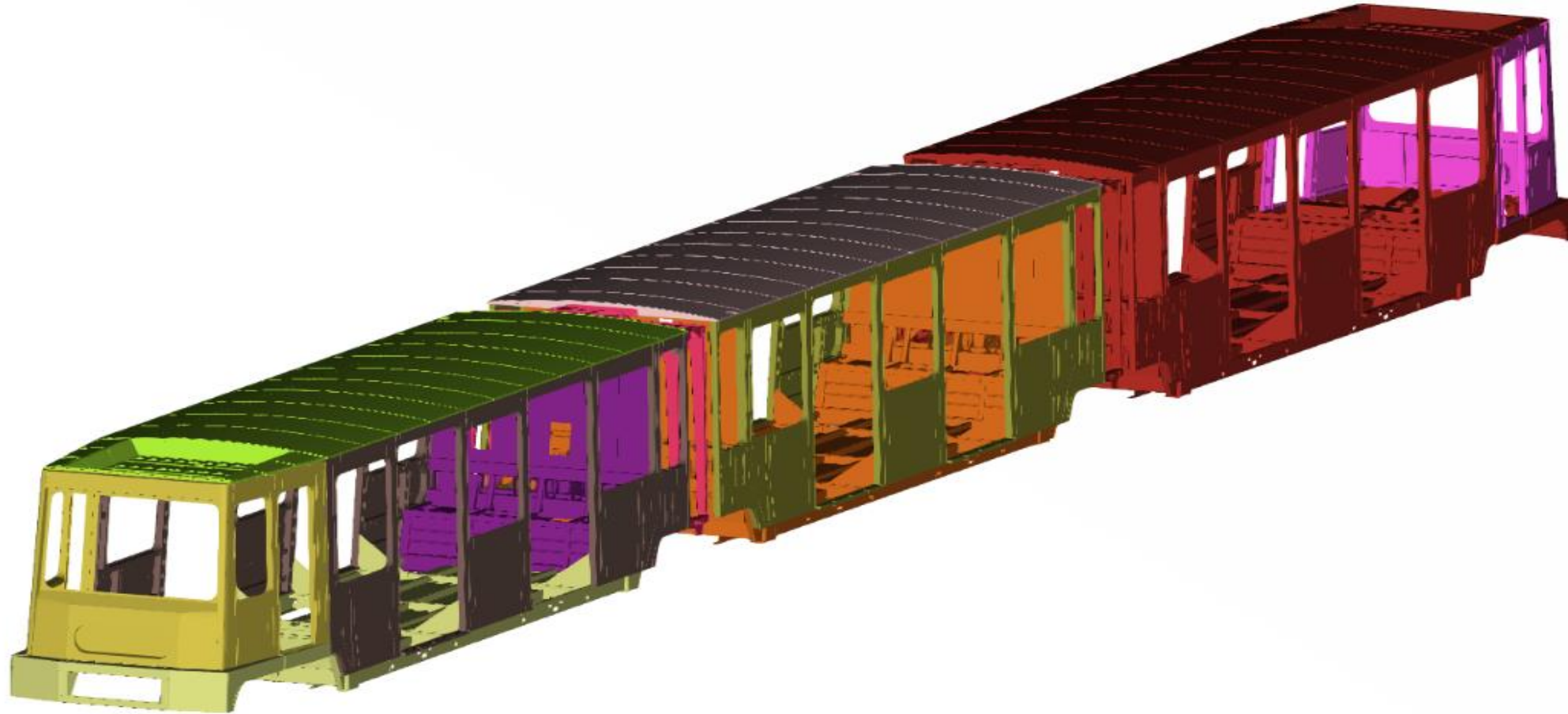
The background features a light cream color with several thick, rounded lines in green, blue, and red. A green line starts from the left, curves down, and then continues horizontally. A blue line starts from the bottom, curves up, and then continues horizontally, overlapping the green line. A red line starts from the top right and curves down. There are two black dots: one on the green line and one on the blue line. A large orange circle is positioned on the left side of the image.

Modellezés és szimuláció



28

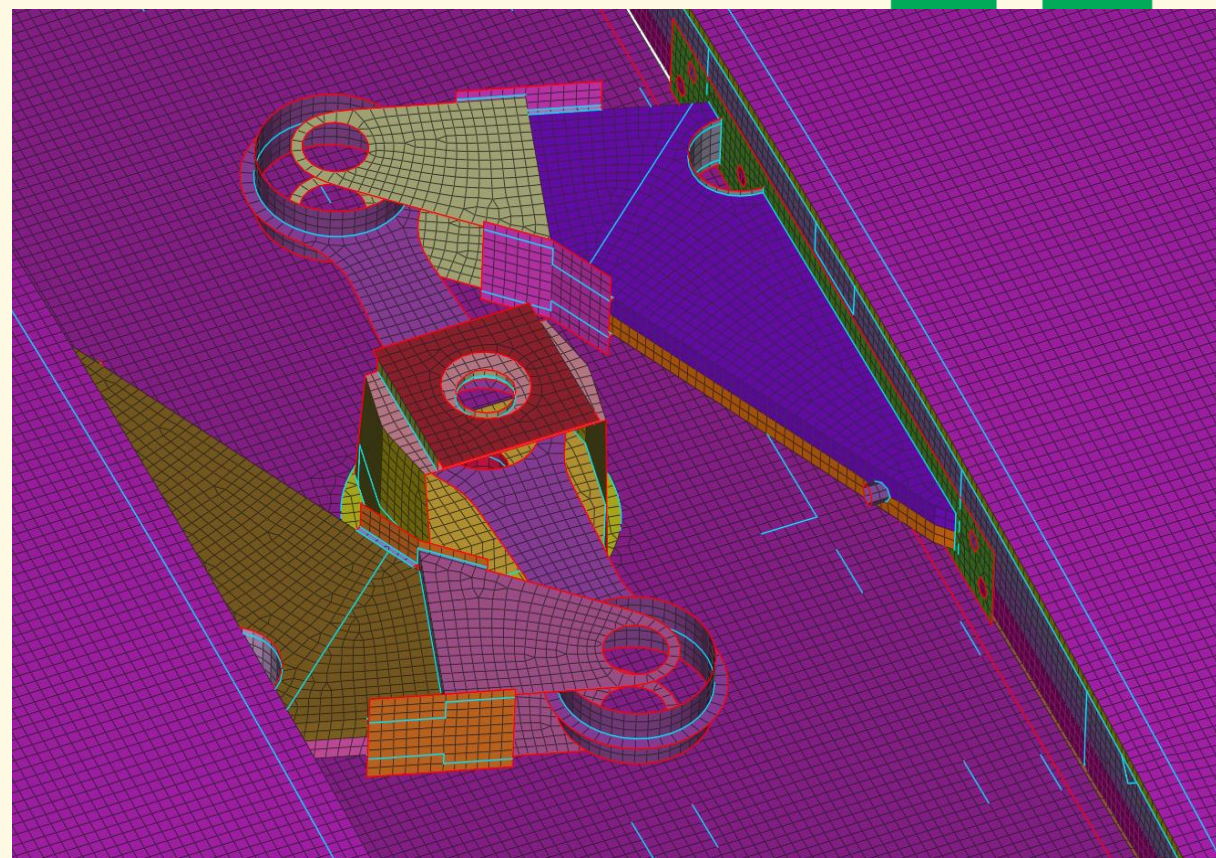
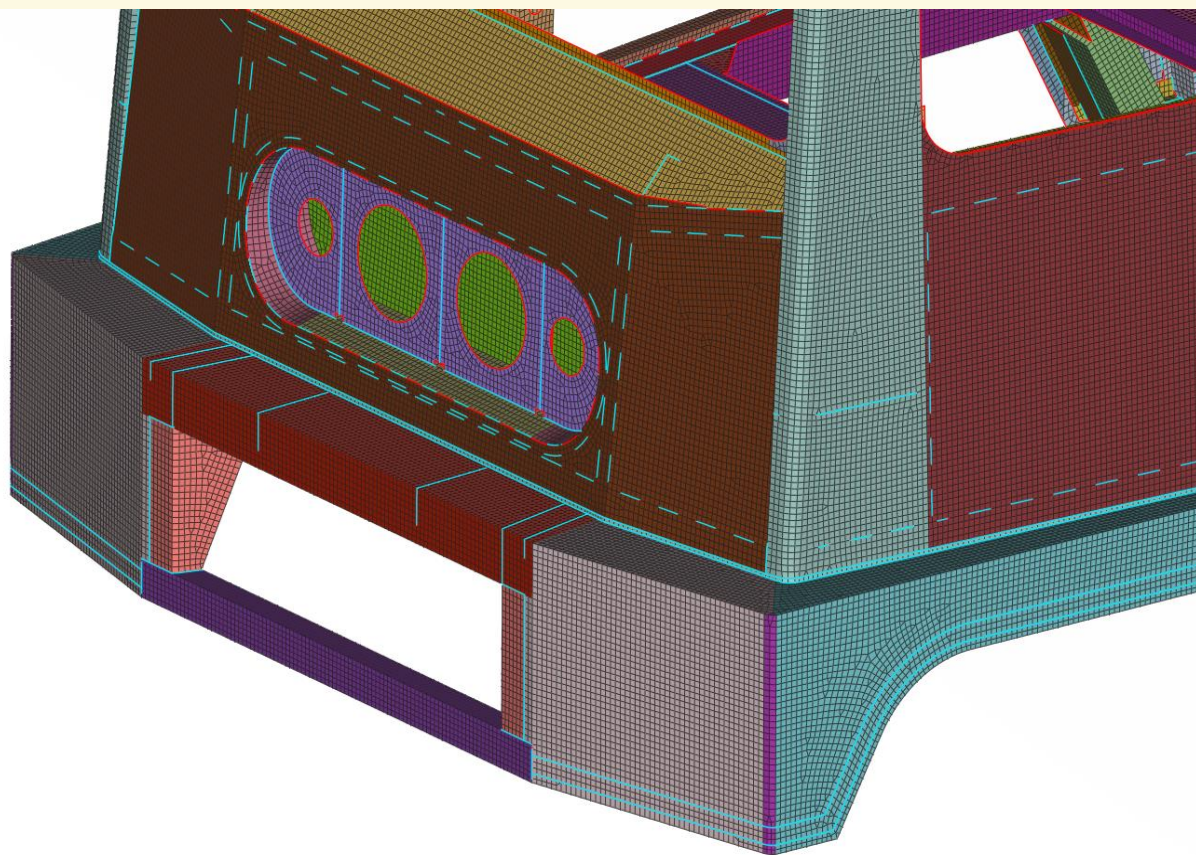
CAD modell





29

Végeselelemes háló

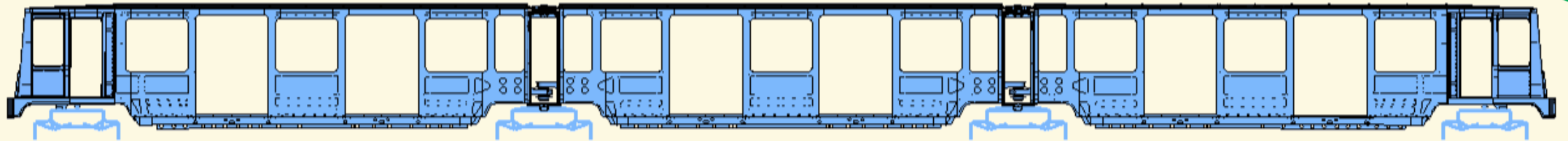
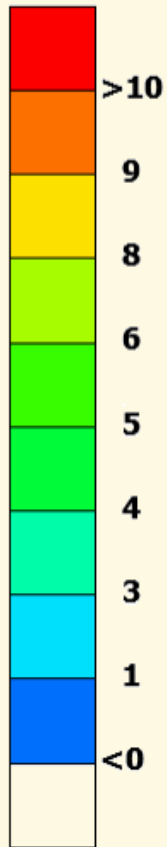




30

Gravitációs terhelés (saját tömeg + műterhelés), elmozdulások

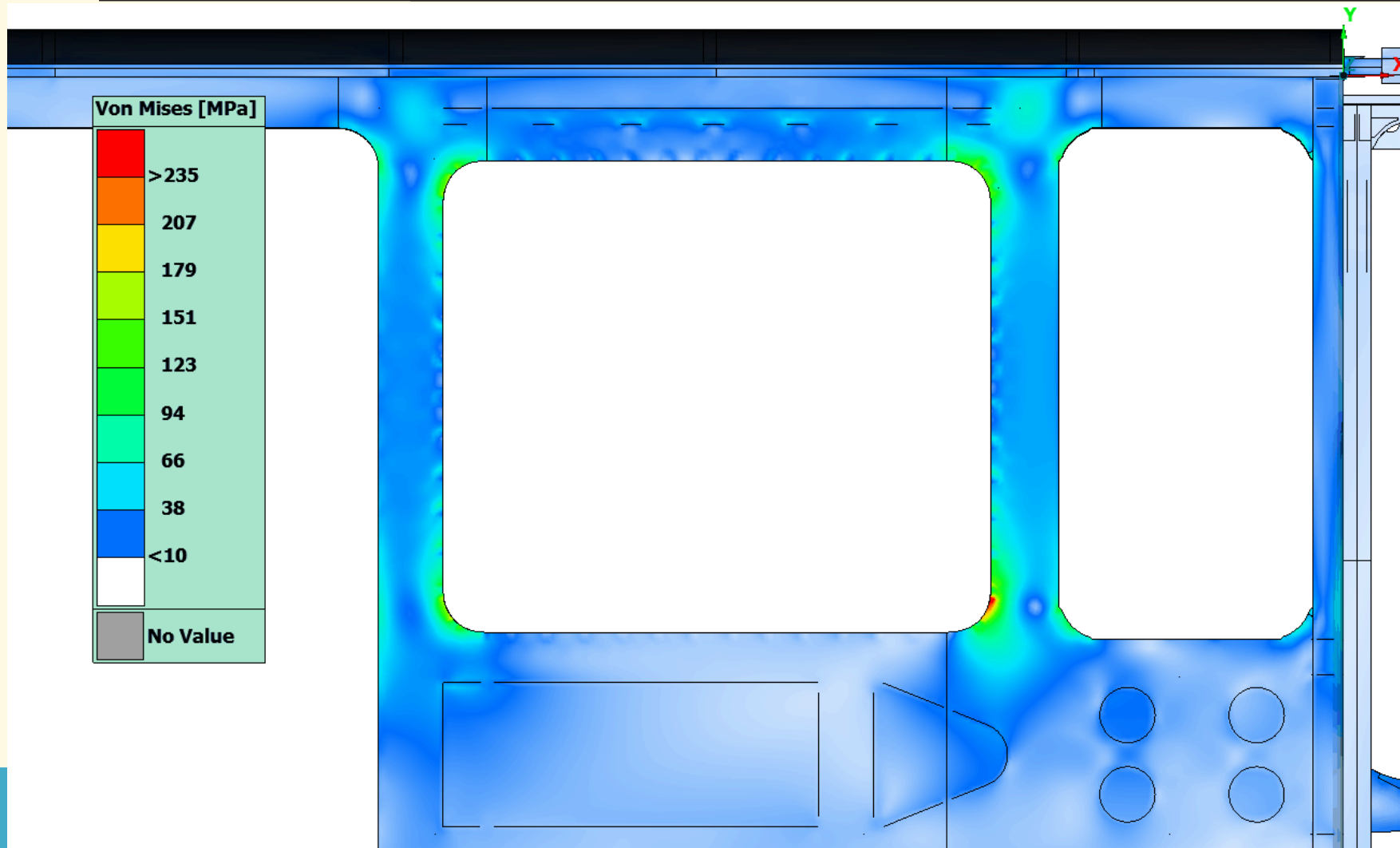
Total Displacement [mm]





31

Gravitációs terhelés, B kocsi kapcsolt végi ablak, feszültségek



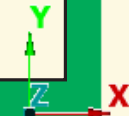
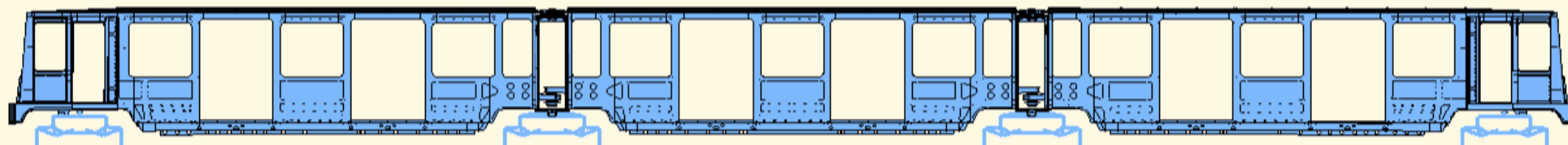
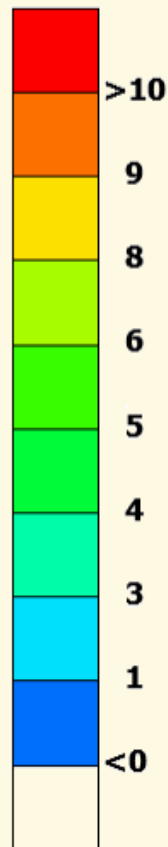
- Ablak sarkainál nagy feszültségű zónák 170-200 [MPa]
- 300 [MPa] körüli csúcsfeszültségek



32

Gravitációs terhelés + Y irányú mért gyorsulás, elmozdulás

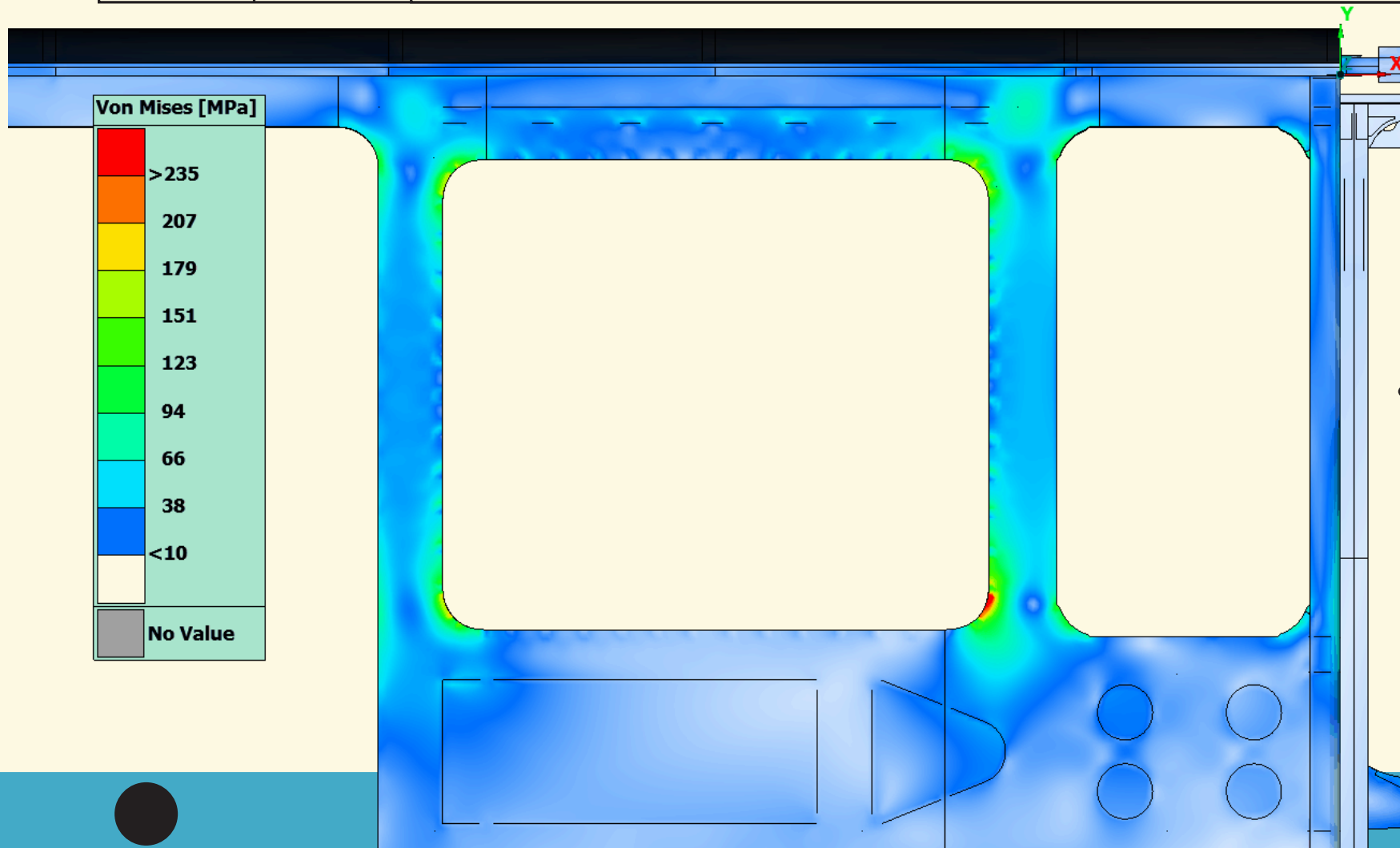
Total Displacement [mm]





33

Gravitációs terhelés + Y irányú mért gyorsulás, B kocsi kapcsolt végi ablak, feszültség



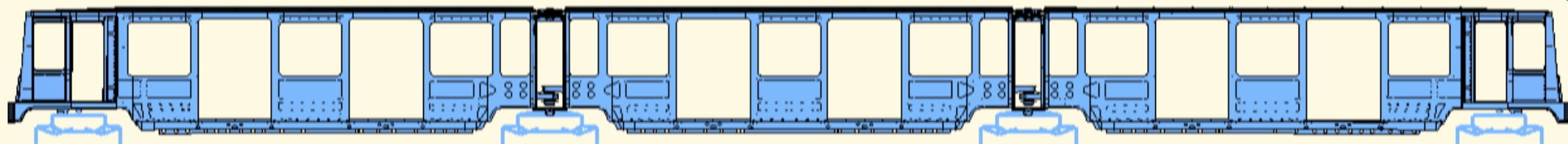
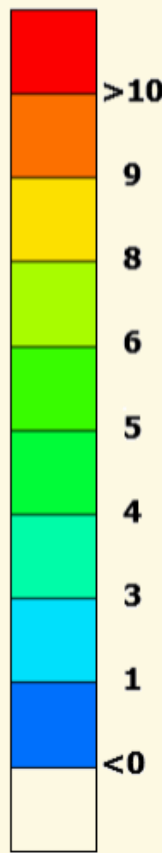
- A mérések során mért $\sim 0,2$ g nagyságrendű a gravitációs mezőhöz hozzáadódó gyorsulások hatására a feszültség további átlagos 20-30 [MPa]-al nő



34

Gravitációs + F_y erő a tetőkapcsolaton, elmozdulás

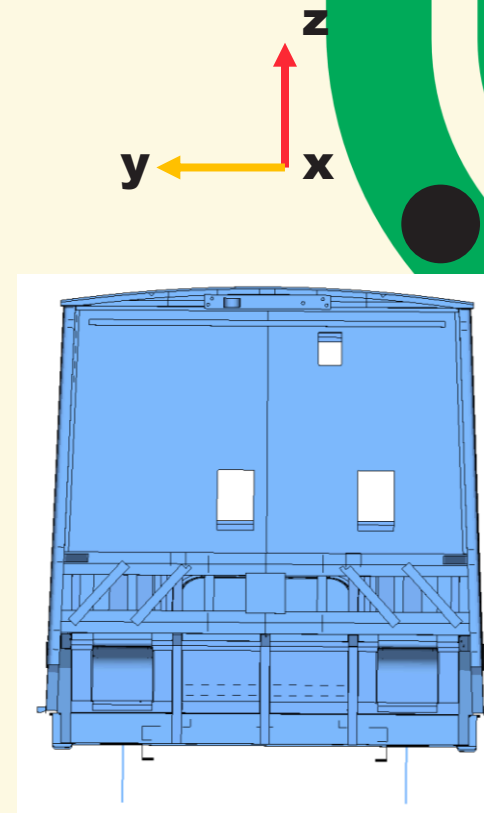
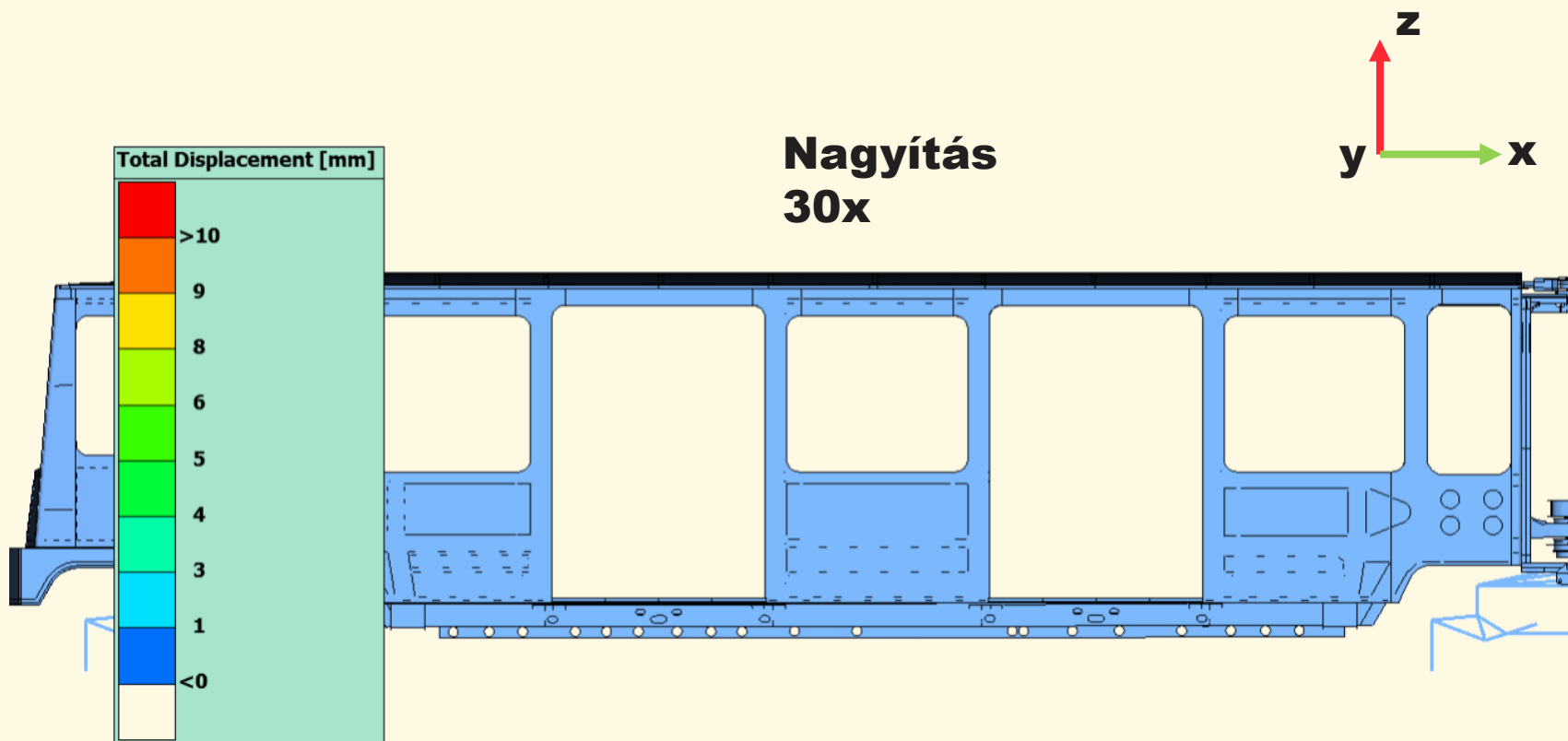
Total Displacement [mm]





35

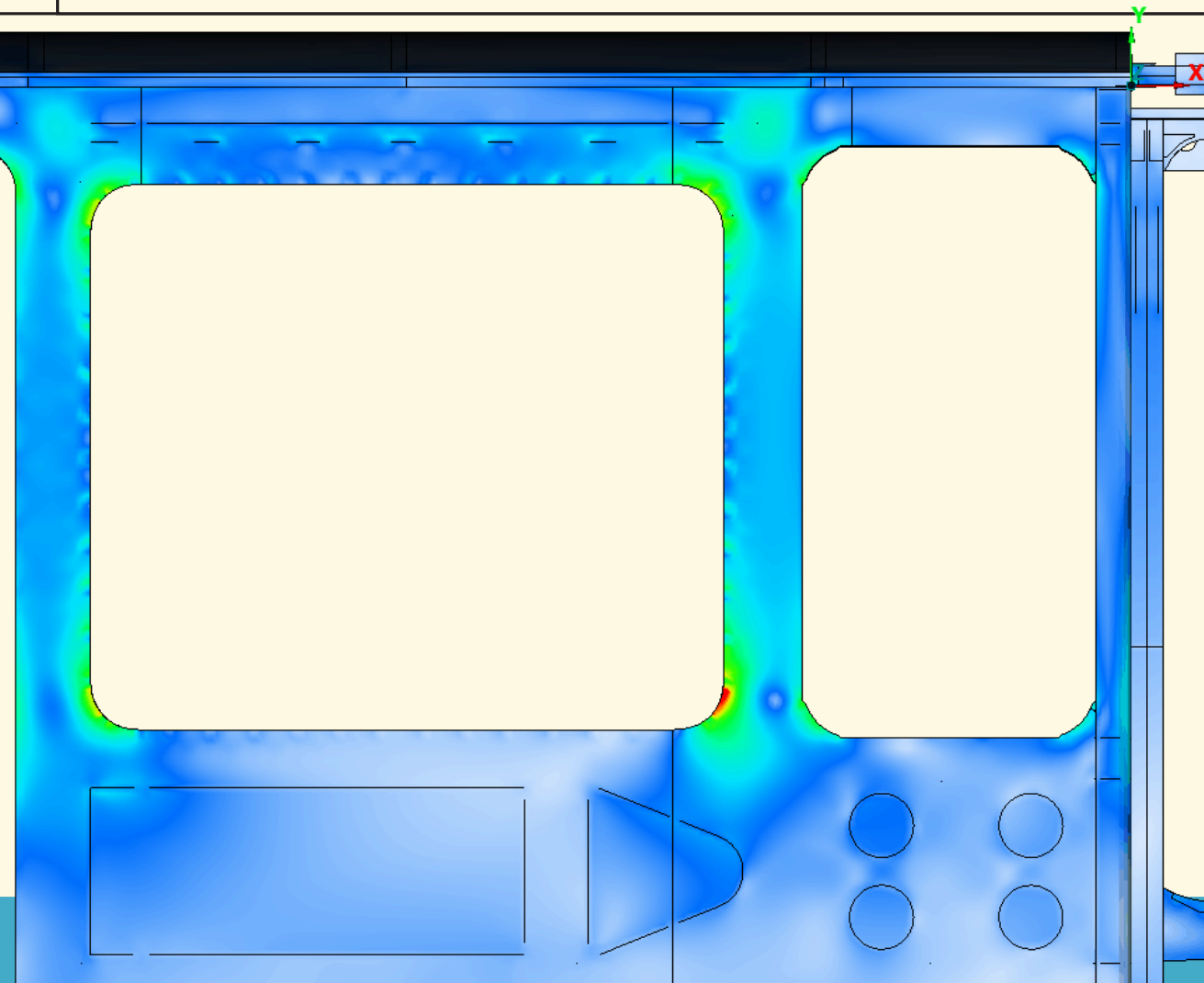
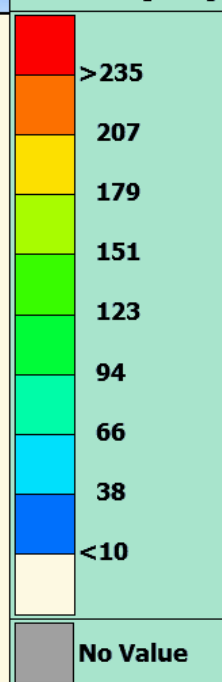
Gravitációs + F_y erő a tetőkapcsolaton, elmozdulás



**36**

Gravitáció + F_y erő a tetőkapcsolaton, B kocsi kapcsolt végi ablak, feszültség

Von Mises [MPa]



- Az oldalirányú erők hatására a feszültségek átlagosan 20-30 [MPa]-lal nőnek.
- Ez 50-60 [MPa]-os feszültségamplitúdót jelent a terhelési irány váltakozása miatt.

The background features several thick, rounded lines in green, blue, and red. A green line starts from the left, curves down, and then continues horizontally. A blue line starts from the bottom, curves up, and then continues horizontally. A red line starts from the top right and curves down. There are two small black dots: one on the green line and one on the blue line. A large orange circle is positioned on the left side of the image.

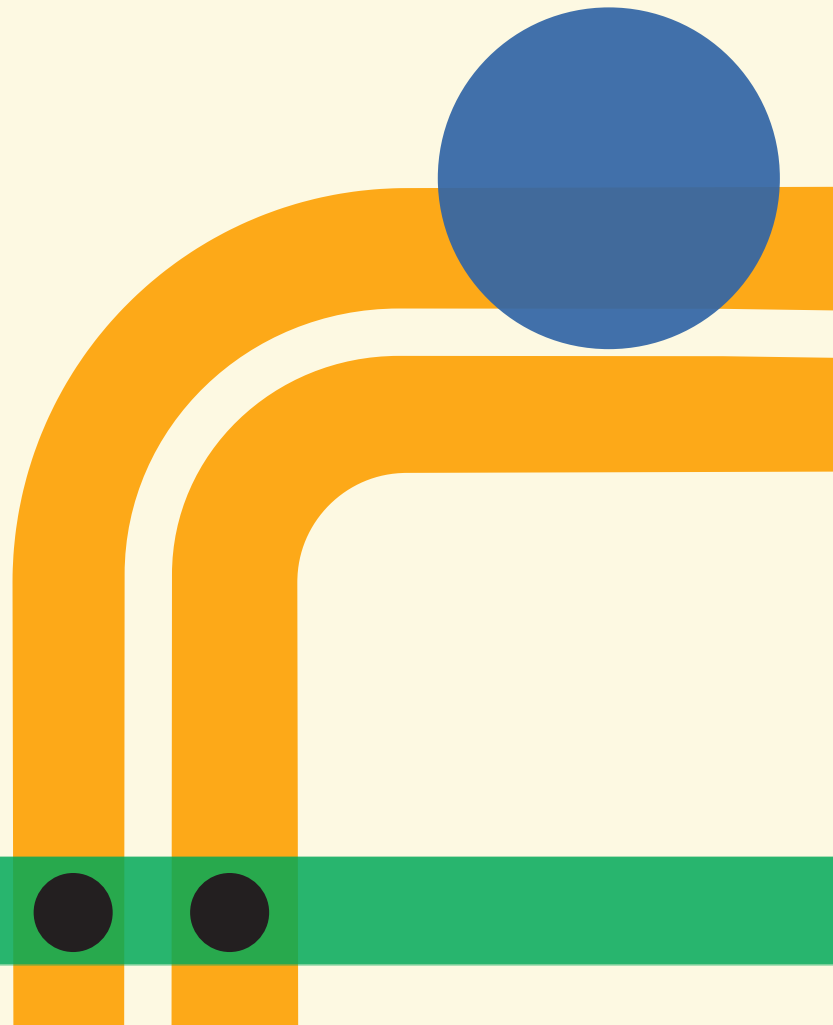
Összegzés



38

Összegzés

1. A végeselem szimuláció eredményei alapján a járműszerkezetben kialakításánál fogva **gravitációs terhelés és a jármű gyorsulása hatására is feszültség ébred** a jellemző repedési helyeken. Ehhez **adódnak hozzá a merev tetőkapcsolat által létrejövő erőhatások.**
2. A vizsgált repedések keletkezési valószínűsége a tervezett karbantartási ciklusokon belül magas, azaz bármikor kialakulhatnak. Ekkor a járműveket nem tervezetten ki kell vonni a forgalomból és javításra kell küldeni: ezzel, mint **jelentősen megemelkedő jármű rendelkezésre állási kockázattal és emelkedő üzemeltetési költségekkel kell számolni.**
3. A szerelvények jelenlegi szerkezeti kialakítása és állapota **vasútbiztonsági szempontból nem jelent kockázatot.**



**39**


Várható élettartam

Az egy menetre jutó károsodásértékek összegzésével, valamint a napi menetszámmal való szorzás után előáll **az első hibahely megjelenésének becsült időtartama**, ami jelen esetben **~60 nap**, átlagos mértékű üzemi terhelést feltételezve.

Az első repedés megjelenésétől számítva a repedés terjedésének és teljes keresztmetszetben való kiterjedésének becsülhető időtartama többszöröse is lehet a kialakuláshoz szükséges időtartamnak, azonban elmondható, **többhavi üzem után a jármű nagy valószínűséggel javításra fog szorulni.**

Ez a műszaki tapasztalatok szerint **nem csak egy üzem közbeni, hanem egy statikus tönkremenetelt is maga után vonhat, amit súlyosbíthat a folyamatos nagy terhelés okozta feszültségkorrózió is.**

Mindezekből kiindulva a szerelvények jelentős mértékű áttervezése, illetve a cseréje javasolt a következő 5-10 éves időszakban.

The background features abstract, thick, rounded lines in red and orange. On the left, a vertical orange line is intersected by two horizontal red lines. On the right, a vertical red line is intersected by a horizontal red line. A solid green circle is positioned in the lower right area, overlapping the vertical red line. Two small black dots are placed at the intersections of the lines: one where the top horizontal red line meets the vertical orange line, and another where the bottom horizontal red line meets the vertical orange line.

**Köszönöm
a
figyelmet!**