

Hadas Ádám<sup>1</sup>

# Felsővezeték- és áramszedő- meghibásodások hatása a vasút működésére

## The Effect of Overhead Line and Pantograph Failure for Railway Operations

*A vasúti szállítás kiemelt stratégiai jelentőségű egy ország számára, a vasúthálózat a kritikus infrastruktúra eleme. Bizonyos körülmények között a leggyorsabb és legbiztonságosabb szállítmányozási lehetőség. Ennek ellenére ez a szállítmányozási forma is rejt magában kockázatokat, amelyeket fel kell tárni és megfelelően kezelni. Ilyen kockázati tényező a felsővezeték meghibásodása, amely képes megbénítani egy vasútvonal hosszabb-rövidebb szakaszát. Ide tartoznak a felsővezeték-szakadások, amelyeknek okait dinamikai szimulációval tárom fel, míg az ebből fakadó kockázatokat a kockázatelemzés módszereivel vizsgálom. Célom, hogy a dinamika és a kockázatelemzés módszereinek felhasználásával egy olyan védelmi rendszert tervezek, amely segítségével csökkenthető a felsővezeték-szakadások bekövetkezése. Napjainkban a vasúti szállítási volumen egyre növekszik, a villamos vontatás aránya egész Európában növekvő fázisban van, ezért kiemelten fontos biztosítani a forgalom akadálymentességét.*

**Kulcsszavak:** áramszedő, felsővezeték, dinamika, felsővezeték-szakadás, meghibásodások

*Rail transport is of strategic importance for a country. In some circumstances, it is the fastest and safest transport option. However, this form of transportation also involves risks that need to be explored and handled appropriately. Such a risk factor is the failure of the superstructure, which can paralyse a longer or shorter section of a railway line. This includes overhead line breakdowns, the causes of which are revealed by dynamic simulation, while the resulting risks are examined by the methods of risk analysis. My goal is to design a system of protection using the methods of dynamics and risk analysis that can help reduce the occurrence of line breakage. Nowadays, the volume of rail transport*

<sup>1</sup> Okleveles Járműmérnök, Széchenyi István Egyetem Mechatronika és Gépszerkezettan Tanszék, PhD-hallgató, egyetemi tanársegéd, e-mail: [hadas.adam@sze.hu](mailto:hadas.adam@sze.hu), ORCID: 0000-0003-4883-0049

*is increasing, the share of electric traction is on the rise in Europe, so it is of utmost importance to ensure that traffic is accessible.*

**Keywords:** pantograph, overhead line, dynamics, failure, overhead line break

## Bevezetés

A villamos vontatás két kulcsfontosságú eleme a felsővezeték és a járműveken elhelyezett áramszedők, amelyek érintkezése teszi lehetővé a villamos energia eljutását a járművek elektromos berendezései felé. Ezért nagyon fontos mind a két alrendszer megfelelő tervezése és karbantartása. Ám ezektől függetlenül bekövetkezhetnek haváriahelyzetek, amelyek képesek megbénítani a vasúti forgalmat egy adott szakaszon. Ilyen körülmények között még a dízelmozdonyvontatta szerelvények is kénytelenek arra várni, hogy a szakemberek elhárítsák a hibákat. Ebből fakadóan meg kell ismerni az áramszedő (mint alrendszer) tervezésének alapvető összefüggéseit, ami alapján meghatározhatók azok az alapvető dinamikai paraméterek, amelyek segítségével vizsgálni lehet a két alrendszer együttes viselkedését. Így mechanikai szempontból eldönthető, hogy megfelelő-e a két rendszer együttes működése. De még a körültekintő tervezés ellenére is bekövetkezhetnek meghibásodások, ezért fontos elem a kockázatelemzéssel történő hibaanalízis. Ennek eredménye alapján megvizsgálható, hogy konstrukciós szempontból megfelelő-e egy áramszedő, vagy sem, illetve milyen meghibásodásokra kell számítani az üzemeltetés során. Ennek a két módszernek a segítségével olyan aktív és passzív biztonsági rendszer tervezhető, amellyel csökkenthető a meghibásodások bekövetkezése, illetve súlyosságuk mértéke.

## Áramszedő-felsővezeték rendszer meghibásodásai

Számos oka lehet annak, hogy a rendszer egyik, másik, de akár mindkét komponense olyan mértékben károsodik, hogy a vasútvonal egy adott szakaszán korlátozásokat kell bevezetni. A meghibásodásnak három típusa lehet: az áramszedő rongálódása, az áramszedő sérülése és az áramszedő törése. Az első két kategória a benne bekövetkezett kár összegétől függ, míg a harmadik esetében a pantográf valamely karja tört el. A rongálódás kiváltó okát szintén három kategóriára lehet osztani: felsővezeték okozta, valamilyen vasúti baleset történt, illetve egyéb okok miatt következett be a károsodás.

1. táblázat. Egyes események bekövetkezési valószínűsége

	Felsővezeték-hiba miatt	Baleset	Egyéb
Áramszedő rongálódása	25,93%	1,85%	3,70%
Áramszedő sérülése	18,52%	7,41%	3,70%
Áramszedő törése	24,07%	1,85%	12,96%

Forrás: A MÁV-START adatai alapján a szerző szerkesztése

2. táblázat. Költségek megoszlása

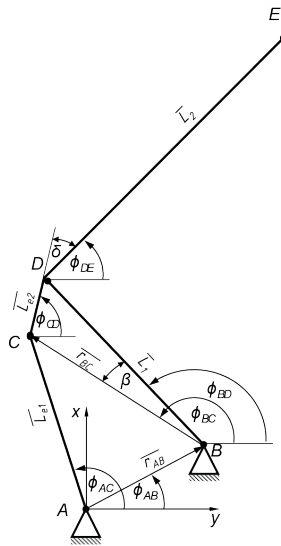
	Felsővezeték-hiba miatt	Baleset	Egyéb
Áramszedő rongálódása	42,95%	0,07%	0,34%
Áramszedő sérülése	11,05%	2,35%	2,44%
Áramszedő törése	28,53%	3,90%	8,37%

Forrás: A MÁV-START adatai alapján a szerző szerkesztése

Látható az 1. és 2. táblázatokból, hogy az áramszedőben a legnagyobb volumenű károsodást a felsővezeték okozza. Azon belül is az áramszedő-rongálódások teszik ki a legnagyobb szeletet az események közül. Ezért foglalkozni kell a rendszer együttes üzemével, és egy olyan eszközt kell kifejleszteni, amely képes arra, hogy időben felismerje az áramszedő vagy a felsővezeték meghibásodását és azonnal beavatkozzon, így minimalizálja a sérülések mértékét, ezzel pedig a költségeket is.

## Áramszedő geometriai tervezése

A félpantográf rendszerű áramszedő geometriájának tervezése<sup>2</sup> nagy körültekintést igényel, ugyanis a geometria hatással van az áramszedő összes többi jellemzőjére.



1. ábra. Számításhoz szükséges paraméterek

Forrás: RABOCZKI 1986

<sup>2</sup> RABOCZKI 1986.

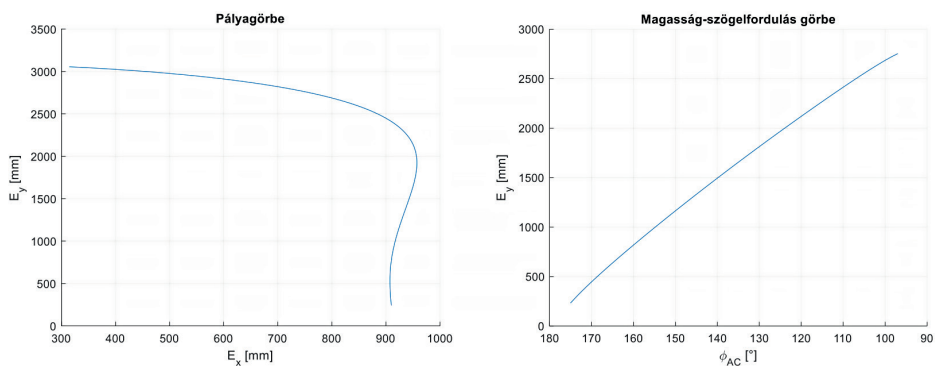
A számítás során<sup>3</sup> az  $E$  pont elmozdulását szeretnénk meghatározni az  $A$  csuklóponthoz kötött derékszögű koordinátarendszerben, a  $\varphi_{AC}$  szögelfordulás függvényében (1. ábra). Ennek során az a kikötés, hogy az  $E$  pont pályája a lehető legkisebb mértékben térjen el a függőleges egyenestől<sup>4</sup> az áramszedő működési tartományában. A számításához válasszuk paraméternek az  $|\overline{r_{AB}}|$ ,  $|\overline{L_1}|$ ,  $|\overline{L_{e1}}|$ ,  $|\overline{L_{e2}}|$  karhosszúságokat és a  $\varphi_{AB}$  szöget. Ennek során kialakul egy  $ABCD$  négyyszög a megadott tagok hosszával.

A  $\delta$  szöget a mozgás során állandónak véve kell meghatározni az  $E$  pont pályagörbét (amely az  $E$  pont  $x$  és  $y$  irányú elmozdulását ábrázolja). Kísérletezés során megállapítható, hogy akkor kapjuk a legegyszerűbb pályagörbét,<sup>5</sup> ha  $\delta \cong \varphi_{AB}$ , ebből az is adódik, hogy az  $L_{e1}$ ,  $L_1$  és  $R_{AB}$  hosszoknak együttesen kell kiadniuk a szög értékét. A karhosszok ismeretében előállítható az  $E$  pont pályagörbéje, mint szögelfordulás függvénye.

$$E_x = |\overline{L_{e1}}| \times \cos \varphi_{AC} - |\overline{L_{e2}}| \times \cos \varphi_{CD} - |\overline{L_2}| \times \cos \varphi_{CD} \quad (1)$$

$$E_y = |\overline{L_{e1}}| \times \sin \varphi_{AC} - |\overline{L_{e2}}| \times \sin \varphi_{CD} - |\overline{L_2}| \times \sin \varphi_{CD} \quad (2)$$

Egy fejlesztés alatt álló áramszedő jelleggörbét szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. ISTÁSZ01 típusú áramszedő jelleggörbéi

*Forrás: a szerző szerkesztése*

Továbbá ábrázolható még a szögelfordulás függvényében az áramszedő magassága is. Ebből megállapítható, hogy mennyire lesz egyenes az áramszedő függőleges irányú mozgása.

<sup>3</sup> RABOCZKI 1986.

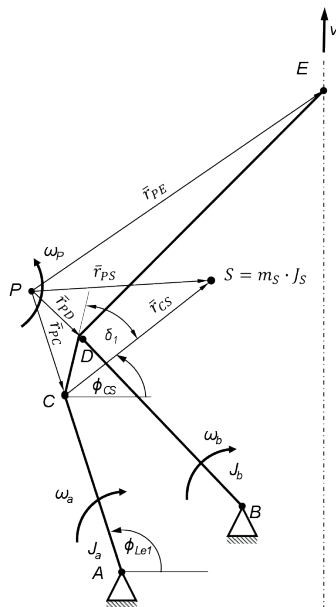
<sup>4</sup> HADAS 2014.

<sup>5</sup> HADAS 2014.

## Áramszedő redukált tömegének meghatározása

A redukált tömeg, vagy más néven dinamikai tömeg, az a fiktív tömeg, amely a mechanizmus bonyolult geometriáját egyetlen testté alakítja át. Ennek segítségével könnyebben elvégezhető a szimulációk. Ez a tömeg érintkezik a felsővezetékkel, így meghatározása elengedhetetlen, valamint a dinamikai szimuláció során felhasználják. Továbbá meg kell azt is jegyezni, hogy ennek az értékét minimalizálni kell, illetve a mozgás során közel állandó értéken kell tartani, így minimalizálhatók a tömegelőből származó gyorsulások.

A fiktív tömeg a  $P$  pólusponton átmenő  $p$  tengely körül, az alsó karok pedig az  $A$  ponton átmenő  $a$  és a  $B$  ponton keresztülmű  $b$  forgástengely körül végeznek forgó mozgást. Ezekre a tengelyekre kell meghatározni a mozgási energia értékeit (3. ábra).



3. ábra. Félpantográf tehetetlenségi nyomatéka

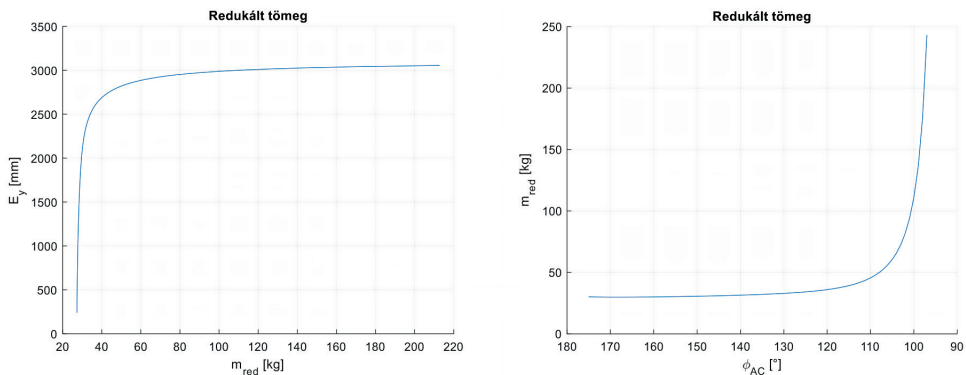
Forrás: RABOCZKI 1986

A rendszer összes mozgási energiája az egyes karok mozgási energiájának összege, aminek meg kell egyeznie a redukált tömeg mozgási energiájával, tehát:

$$E_{\text{összes}} = E_a + E_b + E_p = \frac{1}{2} \times m_{\text{red}} \times v_y^2 \quad (3)$$

A redukált tömeg értéke a fenti egyenlet átrendezésével határozható meg, a karok tehetetlenségi nyomatéka és szögsebessége alapján.

$$m_{\text{red}} = \frac{J_a \omega_a^2 + J_b \omega_b^2 + (J_S + m_S \times r_{PS}^2) \times \omega_P^2}{v_y^2} \quad (4)$$



4. ábra. ISTÁSZ01 típusú áramszedő redukált tömege

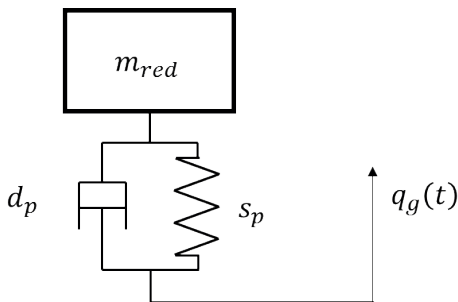
Forrás: a szerző szerkesztése

Látható (4. ábra), hogy közel 2000 mm-es magasságig, illetve 130°-os nyitásig nem változik jelentős mértékben az áramszedő redukált tömege. Ebből arra lehet következtetni, hogy ezt a geometriát maximálisan 2000 mm-es magasságig lehet használni.

### Áramszedő – felsővezeték üzeme

Az 5. ábra szemlélteti az áramszedő dinamikai modelljét, ami egy egyszabadságfokú lengőrendszer. A rá ható útgerjesztés két komponensből tevődik össze, egyrészt a pályából származó gerjesztés, amit a jármű futóművén keresztül a járműszekrény ad át az áramszedőnek, másrészt pedig a felsővezetékéből adódó útgerjesztés, amelyet a következő formulával adhatunk meg.

$$y_g = g(t) - e_y(t) \tag{5}$$

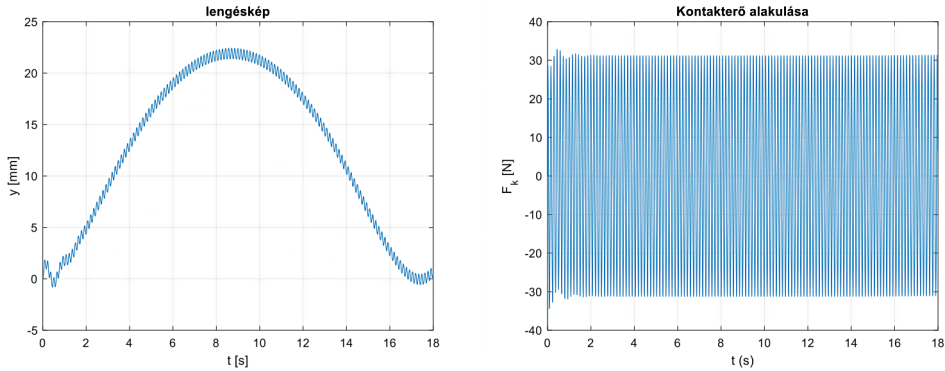


5. ábra. Áramszedő dinamikai modellje

Forrás: a szerző szerkesztése

A rendszer lengésképét a Langrange-féle másodfajú mozgásegyenlet megoldásával lehet előállítani.

$$m_{red}(y) \times \ddot{y} + d \times (\dot{y} - \dot{y}_g) + s \times (y - y_g) = \underbrace{y_g(t) \times d}_{Q_{g2}} + \underbrace{y_g(t) \times s}_{Q_{g1}} \quad (6)$$

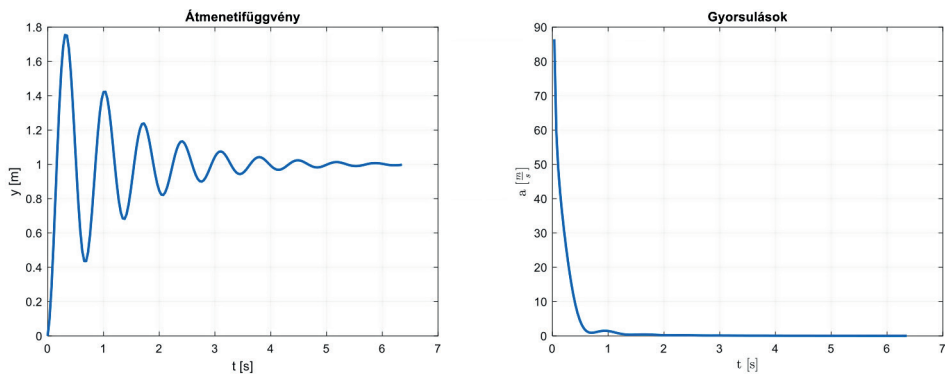


6. ábra. Mozgásegyenlet megoldása

*Forrás: a szerző szerkesztése*

A 6. ábrán látható, hogy  $\pm 30$  N-os erő veszi igénybe a felsővezetékét, ami még a méretezési határon belül<sup>6</sup> van, így normál üzemelés közben nem keletkeznek jelentős mértékű erőhatások, ebből az is következik, hogy ebből fakadóan nem keletkezhetnek felsővezeték-szakadások.

Az igazán nagy igénybevétel akkor keletkezik, amikor hirtelen, rövid idejű impulzusszerű lökés éri a rendszert (7. ábra). Vagyis vizsgáljuk meg a rendszer választát dirac-delta gerjesztés esetén.<sup>7</sup>



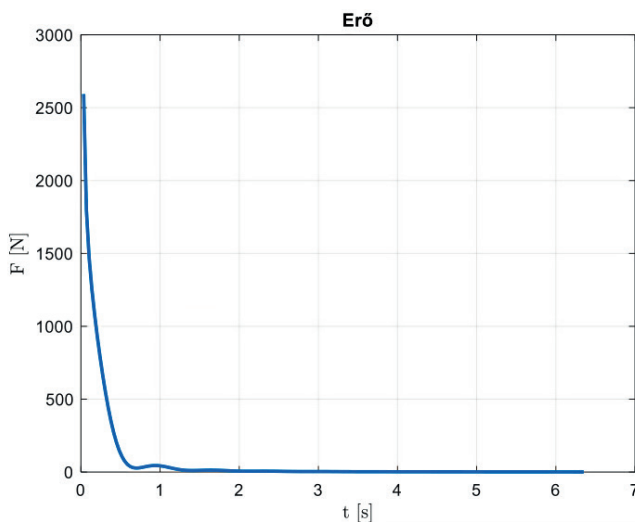
7. ábra. Dirac-delta gerjesztésre adott válaszfüggvények

*Forrás: a szerző szerkesztése*

<sup>6</sup> JUNCKER 2014.

<sup>7</sup> ZOBORY 2011.

A válaszfüggvények nem tartalmazzák azt a konstrukciós korlátot, miszerint egy adott magasság fölé nem mehet az áramszedő, viszont az egyértelműen kitűnik, hogy ilyen esetekben rendkívül nagy gyorsulások ébrednek. Ebből meg az is következik, hogy rendkívül nagy erők lépnek fel, ami már képes arra, hogy károsítsa a felsővezetékét. Ezért szükséges egy olyan rendszert megalkotni, amely képes az ilyen nagy gyorsulásokat (8. ábra) a lehető legkisebb mértékre csökkenteni.



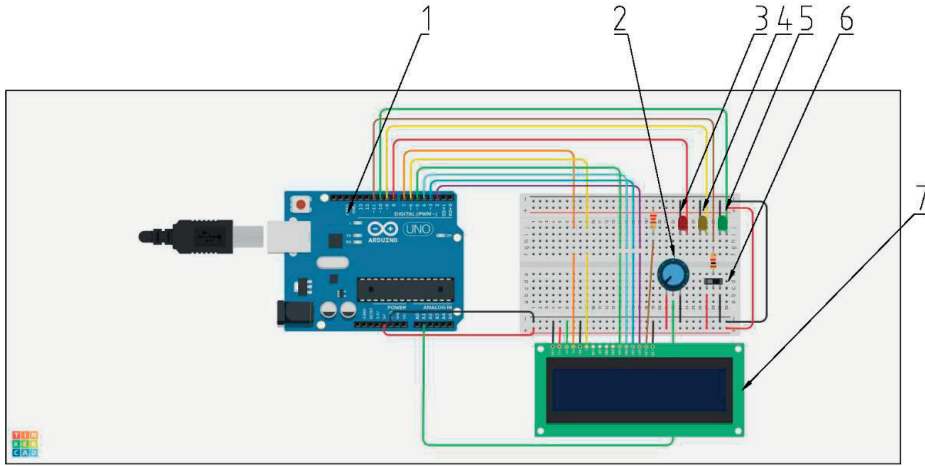
8. ábra. Gyorsulásból származó tömegeerő

Forrás: a szerző szerkesztése

## Áramszedővezérlő-rendszer

Az áramszedő pillanatnyi magasságát a 9. ábra segítségével minden időpillanatban meg lehet határozni, ha ismerjük az aktuális szög értékét. Ezt egy potenciométer segítségével könnyen meg lehet határozni. Valamint ennek a csuklópontnak a magassága szintén ismert a sínkorona szintjétől mérve, ebből fakadóan már rendelkezésre áll a felsővezeték aktuális magassága, amelyet össze lehet hasonlítani az előírt magassággal. Ebből lehet következtetni arra, hogy van-e sérülés a rendszerben, valamint arra is, hogy melyik alkatrészben keletkezett a hiba. Ha valamilyen oknál fogva szakadás lépett fel a felsővezetékben, akkor az aktuális mezőben az előfeszítés kvázi megszűnik, így magasabbra képes emelkedni az áramszedő. Ezt a rendszerrel lehet detektálni, és azonnal le lehet engedni a pantográfot, így elkerülhető a komolyabb meghibásodás, ezáltal az elhárítás ideje lecsökken, hiszen nem kell gondoskodni a sérült szerelvény elvontatásáról. Ezzel a pályakapacitás rövidebb időre lesz korlátozva.





9. ábra. Vezérlőrendszer felépítése

Forrás: a szerző szerkesztése

A vezérlő rendszer elvi vázlatát a 9. ábra szemlélteti. A rendszer lelkét egy mikrokontroller<sup>8</sup> adja (1), ami a potenciométer (2) jelét folyamatosan értékeli ki. Ezt képes LED-ek (3, 4, 5), illetve egy LCD-kijelző (7) segítségével visszajelezni. Valamint fontos még az érintkező felület állapotát is monitorozni, amelyet egy kapcsoló (6) szimulál. Ha ez az elem valamilyen oknál fogva eltörik, abban az esetben az adott áramszedőt nem lehet tovább üzemeltetni.

## Következtetések

Vizsgálataim során arra a következtetésre jutottam, hogy a geometria nagyban befolyásolja az áramszedő dinamikai tulajdonságait. A megfontolt tervezés segítségével, lényegében interaktív módon olyan konstrukció készíthető, amelynek minimális dinamikai hatása van a felsővezetékre. Ám ettől függetlenül előfordulhatnak olyan helyzetek, amikor olyan mértékű gyorsulások ébrednek, amelyek képesek károsítani a felsővezetékét. Ennek céljából egy vezérlőrendszer kidolgozásába kezdtem, hogy csökkenteni lehessen a károk mértékét.

## Összefoglalás

Jelen cikkben bemutattam azokat az okokat, amiért kiemelten kell foglalkozni az áramszedő-felsővezeték rendszerének együttműködésével. Statisztikai adatokkal alá lett támasztva, hogy a leggyakoribb áramszedő-meghibásodásokat a felsővezetékben keletkezett hiba váltotta ki.

<sup>8</sup> OSBORNE 2017.

A dinamikai szimulációból egyértelműen kiderül, hogy normál üzemi körülmények között lehetetlen elszakítani a felsővezetékét, ám egy pályahiba hatására felléphetnek olyan tömegezők, amelyek képesek szakadást előidézni. Ahhoz, hogy a károk mértékét csökkenteni lehessen, vagy akár meg is lehessen előzni, egy aktív védelmi rendszerre van szükség, amely folyamatosan figyeli a rendszer állapotát, és szükség esetén képes beavatkozni. Ezzel hiba esetén nemcsak a költségeket lehet minimalizálni, hanem a pályakapacitás szükségyszerű kiesését is lehet időben mérsékelni.

## Felhasznált irodalom

- HADAS Ádám (2014): Vasútmodell áramszedők méretezése. *Indóház Vasúti Magazin*, 10. évf. 9. sz. 60–61.
- JUNCKER, Jean-Claude (2014): A bizottság 1302/2014/EU rendelete az Európai Unió vasúti rendszerének „járművek – mozdonyok és személyszállító járművek” alrendszerére vonatkozó átjárhatósági műszaki előírásról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*. Rendelet. Brüsszel. 2014. 11. 18.
- OSBORNE, William P. (2017): *Learn to Program in Arduino C, 18 Lessons, from setup to robots*. USA, Armadillo Books.
- RABOCZKI József (1986): Félpantográf rendszerű áramszedő fejlesztése és üzemi tapasztalatai. *Ganz Villamossági Közlemények*, 23. sz. 80–88.
- ZOBORY István (2011): *Rendszertechnika és rendszeranalízis*. Egyetemi jegyzet. Budapest, Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem. Vasúti járművek és járműrendszeranalízis Tanszék.