

Modern vasúti felsővezeték tervező rendszer

Modern railway overhead line design system

LAKATOS Róbert, HARDY András, Dr. TEREI Gábor

CTB Mérnökiroda Kft.

1112 Budapest Fehérló u.20.

Tel: +36 1 209 44 90, Fax: +36 1 279 04 25, iroda@ctbkft.hu, <https://ctbkft.hu/>

Abstract

When designing the overhead contact line, it is necessary to calculate the maximum permissible distance of the contact line from the track centerline based on the parameters of the track, the vehicle, and the overhead contact line. This results in a horizontal strip at the operating height of the overhead contact line. The attachment points (the posts) must be placed at such a distance that the overhead line, which moves under the influence of wind load, remains within the edges of the strip. The FVTP railway overhead line design system offers a solution to this geometric problem.

Keywords: overhead line design, wind load, CAD system

Kivonat

A felsővezeték tervezése során számítani szükséges a munkavezeték megengedhető legnagyobb távolságát a pályatengelytől mérve a pálya, a jármű és a felsővezeték paramétereinek alapján. Ez egy vízszintes sávot eredményez, a felsővezeték üzemi magasságában. A megfogási pontokat (az oszlopokat) olyan távolságban kell elhelyezni, hogy a szélterhelés hatására elmozduló felsővezeték a sáv szélein belül maradjon. Erre a geometriai problémára kínál megoldást az FVTP felsővezeték tervezési módszertan és integrált rendszer.

Kulcsszavak: felsővezeték tervezés, szélterhelés, CAD-rendszer

1. BEVEZETÉS

A villamos hálózatok méretezése és tervezése rendkívül fontos lépés a villamos energetikai iparágban. A villamos hálózatok létrehozásának megalapozásában kiemelt jelentőségű a kötött pályás közlekedést kiszolgáló felsővezeteki rendszer méretezése és szimulációja is. 2018-ban a londoni székhelyű Vasúti Iparági Szövetség (Railway Industry Association – RIA) vizsgálatot indított annak érdekében, hogyan lehetne csökkenteni a vasúti villamosítási projektek költségeit, a kezdeményezés „Electrification Cost Challenge” jelentés [1] néven vált közismertté. Ennek a folyamatnak az eredményeit az Egyesült Királyságban a Képviselőház közlekedési bizottsága előtt is bemutatták „Rail infrastructure Investment” címen. A kérdéskörben végzett kutatások értelemszerűen a felsővezetéknek valamennyi rendszerelemére kiterjednek. [2]

A terhelés szempontjából a pályához kötött fogyasztókon kívül számolni kell a pályán található gördülő állománnyal is, amely akár több MW-os teljesítményt felvehet a felsővezeték hálózathoz. Számos módszer létezik a terhelés kiszámítására: diszkrét rendszerként lehet értelmezni, színes petri hálók segítségével is ki lehet számolni a terheléseket [3], de a klasszikus számítási metodika ugyancsak alkalmazható [4].

A hálózat tervezése és üzemelése során a szabványokban előírt villamos paraméterek betartása mellett a mechanikai megfelelésről is gondoskodni kell. Véges elem módszer alkalmazásával történő modellezésére kiterjedő tanulmány [5] egy új vasúti felsővezeték rendszer mechanikai részeinek dinamikai mintáját mutatja be, amely az érintkezési erők és a vezeték emelkedésének meghatározására szolgál. A modell érvényességét a BS EN 50318:2002 szabvány adatai, valamint a Network Rail Melton Rail Innovation and Development Centre-ben végzett pályateszt adatai igazolják.

A legfontosabb geometriai feladat meghatározni a munkavezeték megengedhető legnagyobb oldalirányú eltérését a vágánytengelytől, végig a pálya mentén. Ez ugyanis jelentős hatással van az oszlopok távolságára, ami a beruházási költségek szempontjából kiemelten fontos tényező.

A cikkben ezeknek a mechanikai paramétereknek a méretezésével és ellenőrzésével foglalkozunk és megmutatjuk, hogy ezeket a számításokat miként lehet automatizálni a számítógéppel segített tervezés (CAD) alkalmazásával.

2. MÉRETEZÉS ELMÉLETI ALAPJAI

A munkavezeték és az áramszedő megfelelő kapcsolata elengedhetetlenül szükséges a vontatójárművek előírt minőségű villamosenergia ellátásához. A Bizottság 1301/2014/EU rendelete az Európai Unió vasúti rendszerének „energia” alrendszerére vonatkozó átjárhatósági műszaki előírásokról (ENE ÁME) tartalmazza [6] a legnagyobb oldalirányú kitéréssel kapcsolatos rendelkezéseket (ÁME 4.2.9.2.), melyek hivatkoznak az EN 50367:2020+A1:2022 szabványban foglaltakra (5.2.5.), mint kötelezően betartandó pontra.

2.1 A munkavezeték használható oldalirányú helyzete

A felsővezetéknek követnie kell a pálya geometriáját úgy, hogy az előírt magasságban (5,7 m) halad a vágány tengely felett. Emellett ívekben és átmeneti ívekben figyelembe kell venni a pálya túlemelései miatti szögelfordulást. Az áramszedőfejet az áramszedő szerkezete nyomja fel alulról a munkavezeték az előre meghatározott határok közötti erővel. Az áramszedőre üzemszerűleg különböző erők hatnak, így az elmozdul a pálya tengelyvonalához képest. A villamos felsővezeték tervezésekor meg kell határozni a munkavezeték üzemi magasságában azt a horizontális sávot, melyben a munkavezeték megbízható kapcsolatban van az áramszedővel. Ennek a sávnak a mérete függ a pálya paramétereitől (egyenes, ív, átmeneti ív, túlemelés, nyomtáv bővítés stb.), a pálya és a felsővezeteki berendezések építési tűréseinek értékeitől, a vontatójármű szerkezeti egységeinek tűréseiből. A sáv szélessége egyenes pályán nem változik, de az átmeneti ívekben a túlemelés változásával nő vagy csökken. A pályaívekben szintén nem változik, de jelentős mértékben csökkenhet az egyenes pályához viszonyítva. A tervezés következő eleme a felsővezeték szélterhelés miatti oldal irányú elmozdulásának számítása. A felsővezeték olyan távolságonként kell megfogást (rögzítést) biztosítani, hogy a tervezési szélességgel terhelt felsővezeték elmozdulása kisebb legyen, mint az előzőekben említett sáv szélessége. A Felsővezeték Tervező Program (FVTP) segítségével akár automatikusan elhelyezhetjük az oszlopokat (megfogási pontokat) a feszítési terven, melyek megfelelőségét a tervezés során folyamatosan ellenőrizhetjük.

2.2 Járulékos vetület (S')

A pályaívekben előforduló nyomtáv a tűrések és a kopás miatt lokálisan megnövekedhet, emiatt a szerelvény a pályasugara mentén a középponttól kifelé kerül (l_0). A mértékét a pályahálózat működtető a szabályzásainak megfelelően bizonyos értékhatárok között tartja (maximum 1460 mm).

A vontatójárműveken az áramszedők általában a forgóváz felett helyezkednek el. Ha nem, akkor ívekben az áramszedő eltolódik a vágánytengely vetületétől, amit az EN 15273-3 szabvány szerint a $2,5/R$ értékkel szükséges figyelembe venni.

$$S' = \frac{2,5}{R} + \frac{l_0 - 1,435}{2},$$

ahol

R : a pályaív sugár méterben,

l_0 : vágány sínek szélei közötti távolság méterben.

2.3 Az áramszedő magassági helyzete

A munkavezeték megengedett oldalirányú helyzete a munkavezeték magasságától függ. Ezért az áramszedőnek a felsővezetékkel való kölcsönhatását a felsővezetékre tervezett legnagyobb magasságban kell ellenőrizni. Ezt a magasságot felső ellenőrzési magasságnak nevezzük. Az ellenőrzés más magasságokban is elvégezhető. A hitelesítési magasság 5,0 méter és 6,5 méter között változik. A tényleges h' hitelesítési magasság a következőket tartalmazza:

$$h' = h_{CW} + f_u + f_{ws} + f_{wa},$$

ahol

h_{CW} : névleges munkavezeték magassága,
 f_u : munkavezeték felemelkedése (az áthaladó áramszedők miatt),
 f_{ws} : az áramszedőfej dőlése,
 f_{wa} : áramszedő betét kopása.

2.4 Kvázi-statikusság hatása

A kvázi-statikusság hatása a jármű álló helyzetében a túlemeléssel járó ívben, illetve maximális sebesség esetén a túlemelés hiányos kanyarokban való kilengéséből adódik. Ez a hatás a túlemelés vagy túlemelés hiánya és a referenciaadatoknál nagyobb értékek függvényének tekinthető.

A kvázi-statikusság miatti elmozdulások az (i) belső görbére a következő összefüggésekkel számíthatók ki:

$$qs'_i = s'_0 \cdot (u - u_0)_{>0} \cdot \frac{h - h'_{c0}}{L}$$

és külső görbe (a) által

$$qs'_a = s'_0 \cdot (u_f - u_{f0})_{>0} \cdot \frac{h - h'_{c0}}{L},$$

ahol

s'_0 : az áramszedő szelvényénél figyelembe vett rugalmasság,
 L_S : a vágány sínjeinek középvonalai közötti távolság,
 u : túlemelés,
 u_0 : a pálya túlemelésének referenciaértéke a tetőn áramszedővel felszerelt járművek esetében,
 u_f : a túlemelés hiánya,
 u_{f0} : a tetőn áramszedővel felszerelt járművek túlemelés hiányának referenciaértéke,
 h : ellenőrzési magasság és
 h'_{c0} : gördülő középpont magassága a sín teteje felett.

Az Átjárhatósági Műszaki Előírások (ÁME) szerint a két érték közül a nagyobbat kell átvenni. Az u túlemelés túlnyomórészt több, mint az u_f túlemelés hiánya, ezért a qs_a kiszámítása elhagyható és a qs'_i kifejezés qs' lesz.

2.5 Az áramszedő kilengése

Az áramszedővel felszerelt vontatójármű mozgó alkatrészei közötti törések befolyásolják a kapcsolatot a felsővezeték és az áramszedő között [7]. Az oldalirányú erők és a jármű aszimmetrikus terhelése miatt az áramszedő oldalirányba elmozdul, mely elmozdulás mértékét a szabvány szerinti érték alatt kell tartani a jármű üzemeltetőjének.

$$e_p = s_p + z' + \vartheta,$$

ahol:

e_p : az áramszedő lengő mozgása
 s_p : keresztirányú hézag a kerékpár, forgóváz és a jármű karosszériája között
 z' : elmozdulást a kvázi statikus dőlés következtében a jármű oldalán kell figyelembe venni
 ϑ : az áramszedő keresztirányú kilengése, helyzetűrése és aszimmetriája miatti elmozdulás

A munkavezeték használható „ e_{use} ” oldalirányú tartományát az áramszedő teljes vízszintes elmozdulásának és az üzemi hosszának figyelembevételével kell kiszámítani:

$$e_{use} = \frac{l_A}{2} + \frac{l_W}{2} - L'_h,$$

ahol:

e_{use} : a munkavezeték megengedhető legtávolabbi oldalirányú helyzete méterben,
 l_A : az áramszedőfej munka hossza méterben,

l_W : az áramszedőfej hossza méterben,

L'_h : mechanikus-kinematikus áramszedő oldalirányú elmozdulás méterben.

2.6 Véletlenszerű elmozdulások

Az EN 15 273-3 szerint a véletlenszerű elmozdulások összege adja a véletlenszerű jelenségekből eredő elmozdulásokat, mint például:

- vágány keresztirányú elmozdulása két egymást követő karbantartási művelet között,
- keresztirányú vágánymagasság-hibák két egymást követő karbantartási művelet között,
- a vasúti pálya egyenetlenségei miatti járműlengések,
- aszimmetria a jármű felfüggesztésének beépítési tűrései és a terhelés egyenetlen eloszlása miatt.

A maximális tűréshatárok egybeesésének alacsony valószínűsége miatt a véletlenszerű oldalirányú elmozdulások j összegét az egyes együtthatók geometriai átlagaként számítjuk ki

$$\sum j = k \times \sqrt{\Delta b_1^2 + \Delta b_2^2 + \Delta b_3^2 + \Delta b_4^2 + \Delta b_5^2},$$

A felsorolt b_i értékeket a felsővezeték alsó és felső hitelesítési magasságaira kell kiszámítani, melyekből megkapjuk a $\sum j_u$ és a $\sum j_o$ értékeket.

Az FVTP a következő összefüggéssel számolja a munkavezeték megengedhető legnagyobb elmozdulásának sávját:

$$e_{use} = \frac{l_W}{2} - \left(\frac{2,5}{R} + \frac{l_0 - 1,435}{2} \right) - 0,15 \times (u - 0,066)_{>0} \times (h' - 0,5) - \left\{ (e_{pu} + \sum j_u) + \frac{h' - 5,0}{6,5 - 5,0} \times [(e_{po} + \sum j_o) - (e_{pu} + \sum j_u)] \right\}$$

2.7 Szélterhelés számítása

A tervezési szélesebséggel terhelő szél a munkavezeték oldal irányba elmozdítja a két megfogási pont közötti parabola mentén. A munkavezeték nem léphet ki a munkavezeték megengedhető legnagyobb oldalirányú elmozdulás sávjából. Az FVTP meghatározza a munkavezeték szélkifüvott helyzetét, amelyet meg tud jeleníteni, ezáltal ellenőrizhetővé válik a terv megfeleltetése. A tervező program a munkavezeték maximális elmozdulását a következő képlet szerint számítja:

$$e_{max} = \frac{WindFactor \cdot l^2 \cdot v^2}{H},$$

ahol

l : oszloptávolság [m],

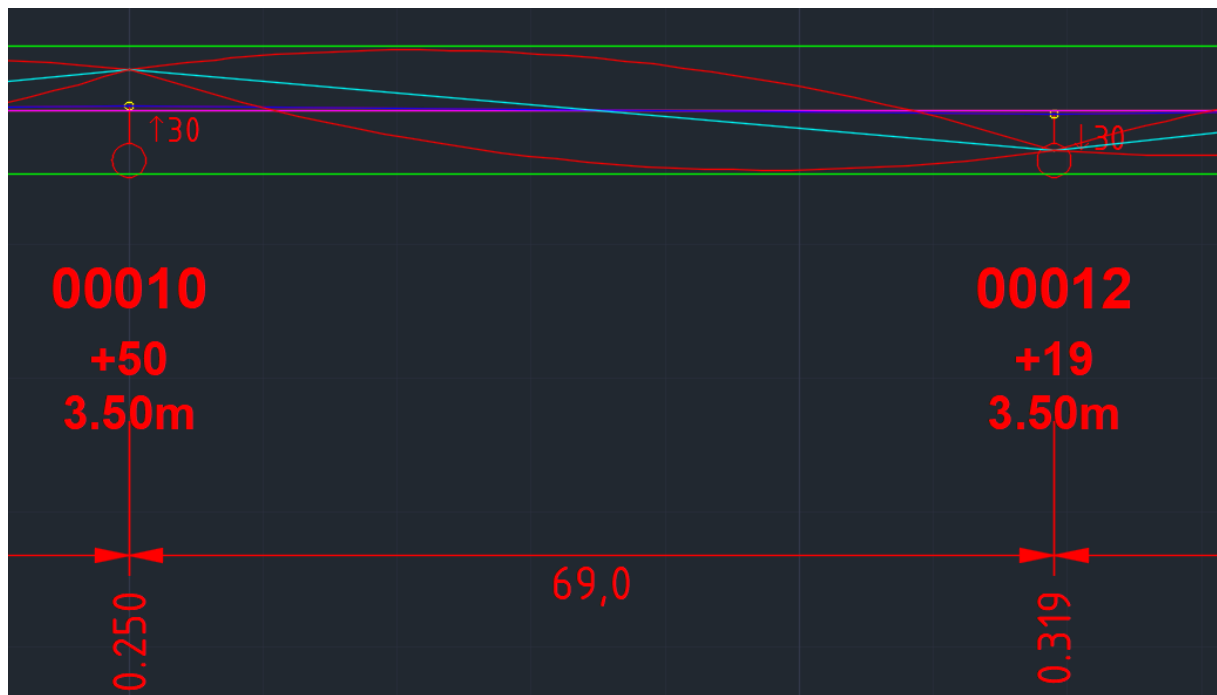
v : szélesebség [m/s],

H : feszítőerő [N],

$WindFactor : \frac{C_w \cdot 0,5 \cdot \rho_{levegő} \cdot d}{8}.$

A képletben bevezetésre került a $WindFactor$, melyben a $C_w=1,2$; a levegő sűrűsége $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$; a d a munkavezeték átmérője mm-ben.

A feszítési terv alapján a következő képernyő felvételen látható a hosszlánc vizsgálat. A felsővezeteki hosszlánc ± 30 cm-es kigyózással rendelkezik. A hosszlánc vizsgálat 10-szeres nagyítással ábrázolja a hosszlánc szélterhelt állapotát. A zöld vonalak a munkavezeték megengedhető maximális oldalirányú kitérését, a világoskék és piros vonalak a munkavezeték nyugalmi és kimozdult helyzetét mutatja a tervezési szélesebség figyelembevételével.



1. ábra. Képernyő részlet az implementált FVTP rendszerből

Az FVTP tervező program rendelkezik olyan ellenőrző funkcióval is, amely jelzi, ha a munkavezeték szélterhelt helyzetében a zöld vonalak közötti sávból kívülre kerül. A rendszer így alkalmas keresztmetszvény megjelenítésére, illetve különböző szintű anyag, szerkezeti egység kimutatás készítésére. Emellett kezeli a különböző műtárgyak miatti hosszlánc magasság változtatás tervezését is.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Jól látható, hogy a bemutatott módszertan felhasználásával és szoftveres implementálásával megkönnyíthető a közlekedési kötőtpályás infrastruktúra szerves részét képező villamos felsővezeték méretezése. Az implementált rendszer nem csak a klasszikus tervezés során használható fel, hanem a későbbi ellenőrzések és a pályaszakaszok szabványnak való megfelelésének a tanúsítása során is. Az FVTP intelligens rendszere így alkalmas a felsővezetéki tervdokumentációk elkészítésének széleskörű és integrált támogatására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a munka az NKFI Alapból valósult meg a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00302 azonosítójú, „Innovatív technológiák alkalmazása a felsővezetéki rendszer tervezésének és auditálásának a folyamatában” című projektben.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] D. Clarke, *The RIA Electrification Cost Challenge* Technical Director, Railway Industry Association (RIA), 2019
- [2] Richards D. *Technical papers supporting 'The design of railway overhead line equipment (OLE) mast foundations'*. 2019.
- [3] Pózna A.I., Fodor A., Gerzson M, Hangos K.M. *Colored Petri net model of electrical networks for diagnostic purposes*. IFAC-PapersOnLine. 2018, 51 (2), 260-265
- [4] Greber M., Fodor A. *Simulation of a balanced low-voltage electrical grid using a simplified network model*. Hungarian Journal of Industry and Chemistry. 2019, 47(1) 49-56.
- [5] Elia M., Diana G., Boccione M., Bruni S., Cheli F., Collina A., Resta F. *Condition monitoring of the railway line and overhead equipment through onboard train measurement - an Italian experience*. IET International Conference on Railway Condition Monitoring. 2006.
- [6] Bizottsági rendelet: 1301/2014/EU (2014. november 18.) az Európai Unió vasúti rendszerének „energia” alrendszerére vonatkozó átjárhatósági műszaki előírásokról (egységes szerkezetben: 2023.09.28.)
- [7] F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmieder, E. Schneider *Contact Lines for Electric Railways Third edition* Publicis Publishing, Erlangen Germany, 2018