

INTELLIGENS MEGOLDÁSOK AZ EGYSÉGES VONATBEFOLYÁSOLÁS TERÜLETÉN

Erdei László

*PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: erdei.laszlo1995@gmail.com*

Bányai Tamás

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: alttamas@uni-miskolc.hu*

Absztrakt

Számos logisztikai folyamat van, amelyek lefolyásánál és szervezésénél döntő fontosságú az alkalmazott szállítási ágazat. Különböző szállítási ágazatok között vannak gyorsabb és rugalmasabb lehetőségek, mint a vasút. Viszont az egységes modern vonatbefolyásolási rendszerek alkalmazásával növelhető a versenyhelyzet a kötöttpályás szállítási szektorban. A vonatbefolyásolás során alkalmazott IT rendszerek megbízhatósága és rendelkezésre állása nagymértékben befolyásolja a szolgáltatás minőségét. Jelen munka egy már publikált intelligens vonatbefolyásolási szint adatainak kezelését mutatja be elméleti és gyakorlati megközelítésből.

Kulcsszavak: *IT rendszer, ETCS, vonatbefolyásolás, biztonságos fékút, GSM-R*

Abstract

The different types of transport sectors have a great impact on logistics processes. Among different transport sectors there are many options which are faster and more flexible than rail transportation. On the other hand, the modern train control systems can increase their availability and reliability with IT devices. This work presents a theoretical and practical approach to analysing of data from intelligent train control system level.

Keywords: *IT system, ETCS, train control, safety breaking distance, GSM-R*

1. Bevezetés

A vonatbefolyásolás témában az egyik legjelentősebb hazai irodalomnak számít az [1] forrás, amely a MÁV Baross Gábor Oktatási Központ közreműködésével készült el. Ez az anyag összefoglalásként és oktatási segédletként támogatja a hazai fejlesztéseket és kutatásokat. Ezen kívül [2] műszaki oldalról mutatja be az ETCS vonatbefolyásoló rendszert. Mindkét anyagban bemutatásra kerülnek a különböző ETCS szintek, amelyek a vasúti pályaszakaszokon betöltött funkciók és a szolgáltatott információk szerint különülnek el egymástól. Előnyök és hátrányok megnevezésével levezetve majd azok kiaknázásával kerül bemutatásra egy magasabb vonatbefolyásolási szint, amely leküzdí az előző szintek hátrányait. Ezen tervezési koncepció mentén lettek a tervezési munkák elvégezve a vonatbefolyásolás területén. A kiépítettség, a kommunikáció, az információ és azok továbbítása területén szükségszerű alkalmazni modern és digitalizációs megoldásokat. A vonatbefolyásoló rendszerek pályamenti rendszerlemeinek külső veszélyeknek való kitettsége és meghibásodási gyakorisága egy javításra szoruló gyengepont. Ezen kívül a folyamatos valós idejű adatfeldolgozás

területén is van számos fejlesztési lehetőség. Továbbá a helyzetmeghatározás, az éberségfigyelő rendszer és további biztonsági paraméterek kezelésének tekintetében is számos fejlesztési lehetőség feltérképezhető.

Az ETCS egyik célja az európai egységesítés, vagyis az EU tagállamok akadály nélküli átjárhatósága. Ennek vonatkozásában mindenképpen az ETCS fő célkitűzéseire szükséges alapozni a fejlesztést. Ezáltal felhasználható [3] forrásanyag is. Ebben egy ETCS Level 4 vonatbefolyásolási rendszer elméleti modellje került kidolgozásra. A modell az ETCS Level 2 szintjét veszi alapul, viszont letisztultabb és modernebb módon vezeti be a helyzetmeghatározást, a vezeték nélküli kommunikációt, a fékútszámítást és az éberségfigyelő berendezéseket a rendszerszemléletbe. Ezek a főbb alrendszerei az ETCS Level 4-nek, amelyeket tovább szükséges elemezni az irodalomban.

A vonatbefolyásolásnak, így az ETCS-nek is az egyik alap kiszolgálója egy hatékony és megbízható kommunikációs rendszer. A **GSM-R** (**G**lobal **S**ystem for **M**obiles – **R**ailways) az Európai Parlament irányelvei által szabványosított vasúti kommunikáció rendszer. A GSM-R vezeték nélküli kommunikációs rendszer, amely megvalósítja az irányítók, vonatok, üzemeltető személyzet közötti beszédátvitelt és hordozószolgálatot nyújt a vonatbefolyásoló rendszerek adatátvitelének számára. Hatékony és megbízható kommunikációt képes biztosítani az ETCS Level 4 vonatbefolyásolási szint megnövekedett mennyiségű információi számára is.

A vasúti **fékezések** vizsgálata lassan 200 éves múltra vezethető vissza. Amint megoldottá vált a szerelvények egyre nagyobb sebességű továbbítása, így nőtt annak a szükségessége, hogy minél hatékonyabb és gyorsabb legyen a fékezés. Az idő múlása viszont a régi elveket felülírta, így szükséges újabb szabályokat kidolgozni és felhasználni a digitalizáció által nyújtott lehetőségek kihasználása érdekében a fékezési rendszerek tervezéskor. A vasúti közlekedés egyik fontos vizsgálati aspektusa a biztonságos fékútkak elemzése. Az ETCS Level 4 modelljében definiálásra került egy dinamikus fékútszámító alrendszer. Ez képes lehet együttműködni már meglévő, vagy újabb fékútszámító rendszerekkel. *Lengyel György* vasútgépészetben megjelent – *Fékútszámítás és vonat menetdinamikai ellenőrző program* című cikke jó előirányzata a közlekedési rendszerekben fellépő digitalizációnak. Ebből eredendően a fékútszámítást támogathatja számos IoT megoldás és mesterséges intelligencia. A cikkben bemutatott programmal lehetséges egyedi és vonatba sorolt járművek fékezési, gyorsulási úthosszainak ellenőrzése, féküzemi, haladási és gyorsulási menetdinamikai jellemzőinek (pl. ütközőre, vonóelemekre ható erők) meghatározása. Az egyedi adatok háttértáblából kerülnek beolvasásra a külső tényezők pedig kézzel beállíthatók. A leírt vizsgálatban a MÁV-Start egyik Bombardier TRAXX típusú mozdonyára lett tesztelve a fékrendszer és a fékútkak. A fékezési rendszer paramétereiből történő számítás nincs levezetve, csupán eredményjellegű adatok lettek publikálva. Mivel a fékrendszerek egyediek, így nyilvánvalóan nem képezheti ez a rendszer a szakmai beszámolóm számításainak alapját. Ettől függetlenül a vizsgálati eredményekből le lehet vonni számos következtetést. A *fékútszámító és vonat menetdinamikai ellenőrző program* integrálva és fejlesztve hatékony alapja tudna lenni az ETCS Level 4 vonatbefolyásolási szint fékútszámító alrendszerének (1. ábra).

Az **éberségfigyelés** fontos a vasúti közlekedés során. A hazánkban használatos ilyen jellegű rendszerek elavultak és a megnőtt teljesítőképességnek már nem tudnak megfelelően eleget tenni. Itthon a mozdonyvezetőknek még mindig egy lábbal folyamatosan nyomva tartott pedál felengedésével kell nyugtázni az előre meghatározott, de fix idő- vagy távolságközönként érkező éberségi jelzéseket.

Nemzetközi viszonylatban (EU, Távol-Kelet stb.) különböző vasúttársaságoknál már változatosabb az éberségfigyelés, mivel nem csak pedállal lehetséges a nyugtázás, hanem például műszerfalon lévő nyomógomb segítségével is. Viszont az elv nem változott, mivel fix időközönként érkeznek a jelzések és a nyugtázás mulasztása esetén automatikusan megáll a vonat. A 200 km/h sebesség alatti vasúti üzem esetén nincs szükség magas szintű éberségfigyelésre, ahol például mesterséges intelligencia alapú gépi látással vizsgálják a mozdonyvezető viselkedését. Viszont a biztonságos vasúti közlekedés számára az is hatékony fejlesztési törekvés, ha nem kiszámítható időközönként érkeznek az éberségi jelzések, illetve szabályszerűen változtatható a nyugtázási mód. Továbbá az éberségfigyelő rendszernek a hatékony üzemelés szempontjából együtt kell tudnia működni a vonatbefolyásoló rendszerrel.

Fék			
Villamos fék			
Villamos fék van-e	igen	1	1
Vontatómotor hatásfok	0,98	0,98	0,98
Transzformátor hatásfok	0,98	0,98	0,98
Hajtáslánc hatásfoka	0,98	0,98	0,98
Elméleti visszatáplált teljesítmény	192	5271	5271
Pneumatikus fék			
Van-e pneumatikus fék?	nem	0	1
Féktípus	Tárcsa	2	2
Van-e fékhiszterézis? i/n	nem	0	0
Nagynyomás bar	8	0	0
Átkapcsolási sebesség - felső	80	0	0
Kisnyomás bar	3,8	0	0
Átkapcsolási sebesség - alsó km/h	55	0	0
Fékhengerek száma	8	8	8
Fékhenger átmérője "	10	8	8
Fékhenger ellenőrző N	1500	1500	1500
Fékrendszer áttétele:	8,51	8,51	8,51
Fékváltó állása	P	G	G
Rudazati hatásfok:	0,8	0	0
Féktárcsa max. átmérője mm	305	920	920
Féktárcsák száma:	8	8	8

1. ábra. Fékrendszer paramétereinek beállító panelje

2. Gyakorlati megvalósítás

Az ETCS Level 4 szintű vonatbefolyásolás egyik újszerű alapja a GPS általi nyomkövetés. A mozdonyokban elhelyezett GPS jeladó biztosítja a helymeghatározást. Az így definiált forrás egy *GPS koordinátát* és egy hozzárendelt *időpillanatot* szolgáltat. Ennek az adatszolgáltatásnak a sűrűsége beállítható, viszont a másodpercenként történő feldolgozás még egy könnyen kivitelezhető és egyszerű konstrukció. Ebből a két adatból számos messzemenő következtetést tudunk megállapítani, illetve fontos információkat szolgáltatni különböző ETCS Level 4 alrendszerek működtetéséhez.

Alapszámítások

A vasúti üzem lassan 200 éves múltjára visszatekintve belátható, hogy a vasúti közlekedés népszerűsége egyenes arányosságot mutatott a szerelvények menetsebességének növekedésével. Ahogyan a vonatok sebessége növekedett, úgy egyre hatékonyabb fékezési rendszereket és egyéb biztonsági megoldásokat kellett alkalmazni, bevezetni és szabványosítani. Így a sebesség

függvényében kerül definiálásra számos biztonsági faktor; elsőnek a rendelkezésre álló adatokból való sebességszámítás megoldása szükséges, mint alapszámítási feladat (1. táblázat).

1. táblázat. Kiinduló adatok

Koordináta [X xx° xx,xxx']	Pontos idő [hh:mm:ss]
N46° 40.187' E21° 04.871'	14:19:14
N46° 40.197' E21° 04.869'	14:19:39

Ebben az esetben a sebességet nem feltételezhetjük minden esetben egyenesvonalú egyenletes mozgásnak. Így az általános képletből származtatható a két pont közötti sebesség:

$$v = \frac{s}{t} \quad \rightarrow \quad v_{n+1} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

ahol:

v_{n+1} – sebesség két koordináta között $\left[\frac{m}{s}; \frac{km}{h}\right]$

Δs – két koordináta közötti távolság [m]

Δt – két koordináta feljegyzése között eltelt idő [sec]

Észrevehető, hogy a kiszámított sebesség mindig csak közelít az aktuális pillanatnyi sebességhez. De a GPS track pontjainak 1 másodpercenkénti sűrűsége minimalizálja a pillanatnyi és a számított sebességi közötti differenciát. A Δs komponens kiszámítása már nem ilyen egyszerű. A GPS koordináták, mint a Föld globális helymeghatározására szolgáló paraméterek. Ezért olyan összefüggéssel kell számolni, amely figyelembe veszi a Föld görbületét is. Erre jó összefüggés a **Haversine formula:**

$$\Delta s = \left(\cos^{-1}(\sin(lat_{n+1}) \cdot \sin(lat_n) + \cos(lat_{n+1}) \cdot \cos(lat_n) \cdot \cos(lon_{n+1} - lon_n)) \right) \cdot ER \quad (2a)$$

ahol:

lat_n, lat_{n+1} – szélességi érték az n és $(n + 1)$ pontban [rad]

lon_n, lon_{n+1} – hosszúsági érték az n és $(n + 1)$ pontban [rad]

ER – a Föld sugara, amely megközelítőleg $6371 \cdot 10^3$ [m]

Mivel a Haversine összefüggés a szélességi és hosszúsági értékeket radiánban számolja, ezért ha nem radián az adat bemeneti dimenziója, akkor extra lépésként át kell váltani a koordinátákat a megfelelő formátumba.

$$\alpha [rad] = \frac{\alpha [^\circ]}{180\pi} \quad (2b)$$

Az utolsó lépésként pedig a feljegyzett koordináták dedikált idejeinek különbségeit kell meghatározni:

$$\Delta t = t_{n+1} - t_n \text{ [sec]} \quad (3)$$

2. táblázat. Az képletekbe történő behelyettesítés után

Koordináta [X xx° xx,xxx']	Szakasz táv [m]	Pontos idő [hh:mm:ss]	Szakasz idő [hh:mm:ss]	Sebesség [km/h]
N46° 40.187' E21° 04.871'	-	14:19:14	-	-
N46° 40.197' E21° 04.869'	18,7	14:19:39	00:00:25	3

Ezek az alapszámítások egy része triviális, logikusan levezethető (2. táblázat). A Haversine algoritmus talán a kivétel ezek közül, de ezzel a módszerrel könnyen lehet vele távolságot, majd két pont között átlagsebességet számolni. A rendszer által számított adatok rögzítésre kerülnek és meghatározott idejű tárolása kötelező a biztonsági előírások szerint. Ezen felül további elemzések, statisztikák készíthetők ezekből.

Fékút számítása

Irodalmi áttekintések során sikerült arra a megállapításra jutni, hogy a vasúti üzem fékútszámításai nem vezethetők le és definiálhatók egzakt módon. Így jelen kutatásban alkalmazott fékezés alapját egyszerű fizikai összefüggések, illetve tapasztalati mérések és publikált vizsgálatok eredményei biztosítják. Ebben a témában hazai és egyéb európai fékezésekkel kapcsolatos kutatásokat, hatásvizsgálatokat tekintettünk át.

A hazai irodalom definiál több fékutat is. A **tényleges fékút** az a távolság, amelyet a vonat befut a fékezés megkezdésétől a megállásig az adott pályán. Az **általános fékút pedig** az a távolság, amelyen belül valamennyi vonat, a fékezés megkezdésétől gyorsfékezéssel megállítható, feltételezve a legkedvezőtlenebb külső körülményeket a fékezés folyamán.

A két fékút ismertetése után az alábbi reláció állapítható meg:

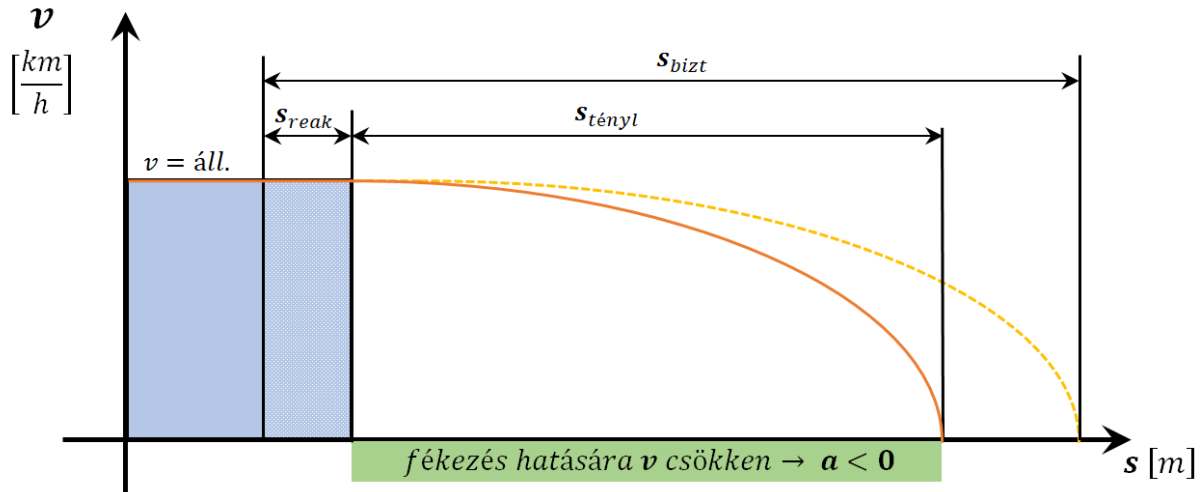
$$S_{tényl} \leq S_{ált} \quad (4)$$

A **tényleges fékút** egy utólagos távolság, amelyet vészfékezés következtében a pálya mentén befutott távolságot adja meg. A **tényleges fékutat** ritkán lehet kielégítő pontossággal meghatározni előre, de a **ténylegeshez** egy jól közelítő értéket viszont igen. Az **általános fékút pedig** egy biztonsági tényezővel számított távolság.

Ahogy a vonatbefolyásoló rendszerek többségében, így az ETCS Level 4 esetében is szükséges egy **fékút** mérő/számító program. A fékutat közelítő pontosságú meghatározása biztonsági szintű feladatot képez. További egyedi cél, hogy fékútvizsgálatot tudjon biztosítani az alrendszer.

Az ETCS Level 4 vonatbefolyásolási szintnek a fékútszámító alrendszerében egy úgynevezett **biztonságos fékút** fogalmat vezetünk be. Ez egy olyan alrendszerként működik, amely az

alapszámítási adatokból az aktuális sebesség alapján képes a pálya adottságainak megfelelően prognosztizálni a biztonságos fékezési távolságot (2. ábra).



2. ábra. Fékút diagram a sebesség függvényében

A fékútszámító alrendszer fizikai értékek függvényében megfelelő ráhagyással (biztonsági tényezővel) a következő összefüggés alapján számol **biztonságos fékutat**:

$$s_{bizt} = s_{reak} + (1 + n_{bizt} \cdot 100) \cdot s'_{tényl} \quad [m] \quad (5)$$

ahol

$$\begin{aligned} s_{bizt} & - \text{biztonságos fékút} \quad [m] \\ s_{reak} & - \text{reakcióidő alatt megtett út} \quad [m] \\ n_{bizt} & - \text{biztonsági ráhagyás} \quad [\%] \\ s_{bizt} & - \text{biztonságos fékút} \quad [m] \end{aligned}$$

Az előre jelezhető biztonságos fékút, mint látszik több tényezőből áll össze. Először a reakcióidő alatt megtett távolságot érdemes megemlíteni, amelyet az aktuális sebességgel megtesz a vonat az észleléstől, cselekedésen keresztül a fékrendszer működéséig. A reakcióidő egy átlagos ember esetén 0,3 – 1,7 másodperc között van, tehát átlagosan az emberi reakció ideje körülbelül 1 másodperc. A mérések következtében viszont az észlelés és a fékezés megkezdése előtt 1,6 másodperc telt el, ami a cselekvés és a fék működésbe lépésének ideje. A reakció idő alatt megtett út:

$$s_{reak} = t_{reak} \cdot v_{akt} \quad [m] \quad (6)$$

ahol

$$\begin{aligned} t_{reak} & - \text{reakcióidő és fékrendszer üzembelépési ideje} \quad 1,6 \quad [sec] \\ v_{akt} & - \text{a fékezés kezdő sebessége} \quad \left[\frac{m}{s} \right]. \end{aligned}$$

Biztonságos fékút kiszámításához a prognosztizált tényleges fékutat meg kell szorozni a biztonsági ráhagyást biztosító tényezővel. Mivel a tényleges fékutat előre csak közelítő pontossággal lehet kiszámolni, így a ráhagyás elengedhetetlen.

A biztonságos fékút legfontosabb tényezőjét a közelítő pontosságú fékutat a következő összefüggés adja meg:

$$s'_{ténysl} = \frac{v_{akt}^2}{2 \cdot |a_{akt}|} \quad [m] \quad (7)$$

ahol:

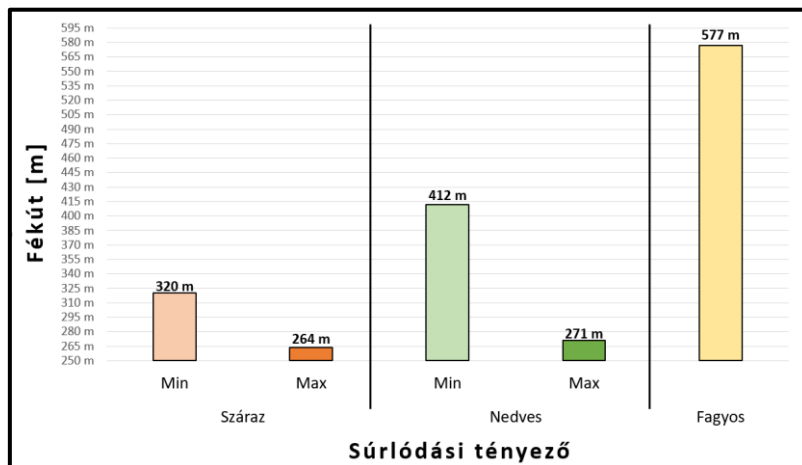
v_{akt} – a szerelvény aktuális sebessége $\left[\frac{m}{s}\right]$

a_{akt} – az elérhető aktuálisan legnagyobb lassulás $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

Az $s'_{ténysl}$ fékút az aktuális sebesség és az elérhető legnagyobb lassulás függvényeként értelmezhető. Az aktuális sebesség adott, amit a rendszer automatikusan szolgáltat, viszont a lassulás mértékét még számos paraméter befolyásolja. Ezek a paraméterek lehetnek **statikusak** és **dinamikusak**. Statikus paraméterekhez azok a jellemzők tartoznak, amik egyedi tulajdonságok és állandó jellegűek. A dinamikus paraméterek azok, amelyek térben és időben változóak.

A legfontosabb fékutat befolyásoló paraméterek:

- Statikus jellemzők:
 - fékezési teljesítmény,
 - az alkalmazott fékrendszer,
 - fékezett tengelyek száma,
 - tömeg,
 - a pálya lejtésének vagy emelkedésének a meredeksége stb.
- Dinamikus jellemzők:
 - csúszás elleni védelem mértéke,
 - a sín aktuális felületi súrlódási együtthatója stb.



3. ábra. Fékutak különböző időjárási és súrlódási közegekben

A statikus fékezési paraméterek mindig egyedi értékeként jelennek meg, mivel egy vasúti szerelvény összeállítása, terhelése nem determinisztikus. A további érdemleges számításokhoz a dinamikus paraméterek vizsgálata a releváns. Az aktuális lassulás átlagértékét utólagos mérések által könnyen meg lehet határozni. Így a [7] szakirodalmi forrásban vázolt mérési eredményeket fogjuk felhasználni, hogy megállapítsuk az átlagos lassulást néhány egyedi esetre vonatkoztatva. Az említett anyagban publikálásra kerültek különböző időjárési körülmények között mért fékútak. Mind maximális és minimális fékezés során fellépő súrlódási paraméterek tekintetében (3. ábra).

A 3. ábrán látható értékek egy mozdony 120 km/h sebességről állóhelyzetbe történő vészfékezéséből adódnak. A 2. ábrán látható a teljes fékezés (vészfékezés) folyamata. A különböző közegek és az időjárési viszonyok nagymértékben tudják befolyásolni a fékezési távolságokat, főleg ha a futófelület és a sín között nincs megfelelő mértékű súrlódási együttható. Fagyos időben, ónos esőben pedig kétszeres is lehet ez a távolság. Az átlagos lassulást így meg lehet határozni a (7) képlet átalakításával:

$$a_{akt} = \frac{v_{akt}^2}{2 \cdot s_x} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (8)$$

ahol:

v_{akt} – a szerelvény aktuális sebessége $\left[\frac{m}{s} \right]$

s_x – a megadott közeg és mechanikai tulajdonságok alapján mért fékútak $[m]$

Továbbá a forrásból származó adatoknak ismerjük két bemeneti értékét, így megtudjuk határozni az adott közegeknek és tulajdonságoknak megfelelően az elérhető átlagos lassulást. Ismert a kezdeti sebesség, illetve, az egyes fékútak.

3. táblázat. Az egyes közegekhez és tulajdonságokhoz tartozó átlagos lassulási értékek

Időjárás	Súrlódási feltételek	FÉKÚT	Lassulás
Szárász	Min	320 m	1,74
	Max	264 m	2,10
Nedves	Min	412 m	1,35
	Max	271 m	2,05
Fagyos		577 m	0,96

Így a 3. táblázatban kiszámított lassulás értékeket abszolútértékben ábrázoljuk, mivel a negatív gyorsulásból származó negatív előjel nem releváns ebben a számításban. Az előbb kiszámított átlagos értékekkel lehet biztonságosan számolni. Így folyamatosan, valós időben képes a rendszer biztonságos fékútszámításra. Hazánkban jelenleg erre nincs példa. A dinamikus definiált külső paraméterek változtatásával pedig tud a rendszer alkalmazkodni a változó feltételekhez.

Éberségfigyelő rendszer

A vasúti üzem során számos biztonsági rendszer és szabályzás van. Az éberségfigyelő rendszerek használata a monoton munkavégzésben történő figyelemcsökkenést hivatott meggátolni. Az irodalmi áttekintés minimális betekintést nyújtott az éberségfigyelő rendszerekbe. Hatékonyabb, hogyha egyesítve van a vonatbefolyásolási rendszerrel. Az ETCS Level 4 vonatbefolyásoló rendszer éberségfigyelő alrendszerének az alpszámítási alrendszer szolgáltatja a sebességadatot.

Főbb újdonságok az ETCS Level 4 éberségfigyelő alrendszerében a változó időközönként érkező éberségi jelzések (20-80 másodperc), a kétféle módszer az éberségi jelzések nyugtázása, a szabályszerűen választható kívánt nyugtázási mód, a nyugtázási módváltó és nem utolsósorban a hangos és vizuális éberségi jelzés.

Azáltal, hogy a vonatbefolyásoló rendszer egyesítve van az éberségfigyelő rendszerrel kölcsönösen tudnak adatot szolgáltatni egymásnak. Ilyen információ lehet például az aktuális sebesség, sebességkorlátozások, biztonságos fékút, szerelvények közötti távolság stb. A változó időközönként érkező jelzések indokolt esetben lehetnek sűrűbbek vagy ritkábbak, de két egyforma időintervallummal semmiképpen nem érkezhethet jelzés.

Jelzések közötti idő csökkentése → sűrűbb jelzések:

- ráfutásos balesetek elkerülés érdekében való jelzés a szerelvény előtt haladó vonat miatt, ha vészfékezne valami oknál fogva;
- lakott területekhez közeli helyeken;
- szintbeli útátjárón való áthaladásakor;
- közös kommunikációs platformon közölt információ miatt (pl.: vadátjárás vagy egy szakaszon a szél csapkodja a felsővezetékeket stb.);
- vonatbefolyásolás nélküli pályán való közlekedés esetén;
- olyan vasútállomáson áthaladva, ahol utasok várakoznak szerelvény mögött közlekedő vonatra,
- sebességkorlátozás-csökkentés előtt, melynek okai lehetnek (pl.: vágányváltás, hegyi terepen, ahol kis ívsugarú kanyarok következnek, a pálya állapota miatt, pályán való munkavégzés esetén, szélsőséges időjárás (pl.: ónos eső)).

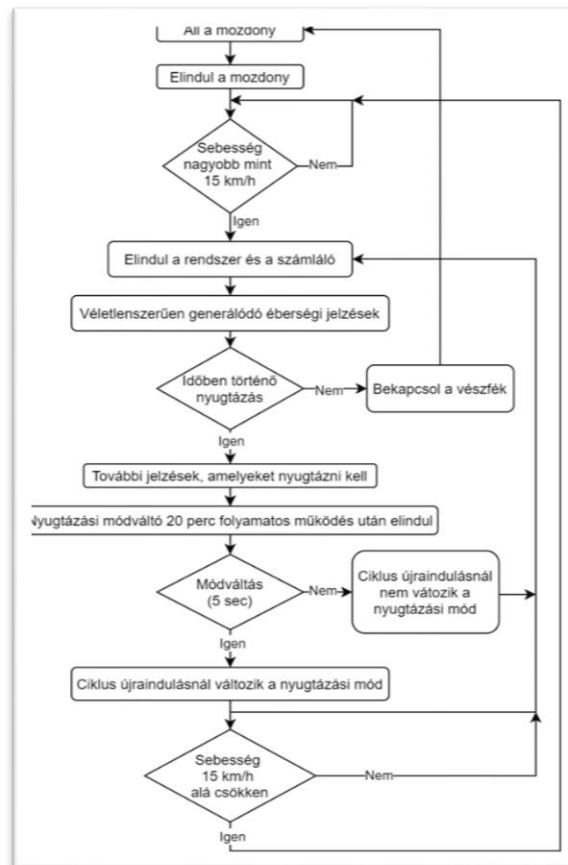
Jelzések közötti idő növelése → ritkább jelzések:

- egyenes nyílt pályán, ahol nincsenek kis ívsugarú kanyarok, ezáltal sebességkorlátozás se;
- hosszú hidakon (pl.: hosszú mocsaras területek felett átívelő hidakon);
- olyan szakaszokon, amely mentén biztonsági kerítés húzódik a vasúti pálya mentén (a sínekre való bejutás elkerülés érdekében);
- városi szakaszokon, ahol zajvédő fal választja el a veszélyt okozó tényezőket.

Az alábbi folyamatábra írja le az elindulás és a megállás rendszerhatárok közötti éberségfigyelő logikai működését (4. ábra). A rendszer egyedi számlálója akkor indul el, amikor a mozdony sebessége eléri a $15 \frac{km}{h}$ sebességet. Ez a tulajdonság megegyezik a MÁV-Start kötelékeiben lévő mozdonyok éberségfigyelő berendezésével (EÉVB).

A nyugtázási módok között egy kétállású kapcsolóval lehet váltani. Az a nyugtázási mód lesz az első ciklusban, ahol a számláló elindulása előtt van a kapcsoló. Tehát indulás előtt lehet választani. Amikor üzemszerűen halad a mozdony a nyílt pályán, akkor a fent ismertetett időintervallumban véletlenszerűen küldi az éberségi jelzéseket. Ha 5 másodpercen belül nem érkezik nyugtázás, akkor bekapcsol a vészfék és megáll a vonat. Idő után való nyugtázással megállítható a fékezés. Ha két

megállás között több mint 20 perc idő eltelik, akkor lehetőség van másik nyugtázási módot váltani. Erre rendelkezésre áll 5 másodperc. Ekkor külön hang és vizuális jelzés érkezik a módváltási lehetőségre.



4. ábra Az éberségfigyelő rendszer logikai működésének folyamatábrája

Ha ekkor a kétállású kapcsolóval nem vált nyugtázási módot a mozdonyvezető, akkor marad az előző és a számláló újraindul. A változtatott módváltó csak az új 20 perces ciklussal együtt indul el. A módváltási ciklusban éberségi jelzés nem érkezik. Ez a folyamat így megy körbe mindaddig, amíg a mozdony sebessége nem csökken $15 \frac{km}{h}$ alá. Ezen sebesség alatt megáll a számláló így éberségi jelzések sem generálódnak.

Összefoglalás

A cikkben egy XXI. század által megkövetelt intelligenciájú vonatbefolyásolási rendszer modellje került kidolgozásra. A lefektetett rendszerhatárok között mozgó vonatbefolyásolási szint alrendszerében számos matematikai, logikai számítás, illetve reláció került levezetésre. Számos olyan kiegészítő alrendszer integrálódik az ETCS Level 4-ben, amely a gépi döntés bevezetése után nyugodt

szívvel kijelenthetjük, hogy megtestesíti „*a félig emberi és félig automata közlekedési szintet*”. Továbbá a gyakorlati megvalósítás jól reprezentálja azt, hogy ez az egyesített éberségi és vonatbefolyásolási rendszer minden eddigénél jobban törekszik a biztonságra és annak magasabb szintű biztosítására. A fékúptimalizálás elvégzését lehetne megfogalmazni, mint további fejlesztési lehetőséget több statikus paraméter feltárásával és szükséges IoT támogatással. A kutatásban ismertetett eredmények vizuális megjelenítése egy szimulációs környezetben kézzel foghatóbban felhasználja és reprezentálja az ETCS Level 4 megálmodott rendszerét.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-2-I. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalomjegyzék

- [1] Jóvér, B.: ETCS Az Egységes Európai Vonatbefolyásoló Rendszer, MÁV Baross Gábor Oktatási Központ 2006.
- [2] Stanley, P.: ETCS for Engineers, Institution of Railway Signal Engineers 2011. (ISBN: 9783962450342)
- [3] Erdei, L.: Vasúti szállítványozás fejlesztési lehetőségeinek vizsgálata a vonatbefolyásolási rendszer fejlesztése révén, Szakdolgozat, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet, 2018.
- [4] Herege, J.: Vasúti berendezések működése, MÁV Zrt. Budapest, 1973., 27/39 p.
- [5] Maros, D., Tokodi, D., Tiszavölgyi, Zs.: A GSM-R rendszer jelene és jövője, Vezetékek világa 2015/1 XX. évfolyam, 1 szám. 17/21 p.
- [6] Nánási, Z.: Vasúti fékezés XII. – A megfékezetttség számítása, RegionalBahn, 2012. december 15.
- [7] Lengyel, Gy.: Fékszámítás és vonat menetdinamikai ellenőrző program, VASÚTGÉPÉSZET, 2012. április
- [8] Fehér Könyv – Útiterv az egységes európai közlekedési térség megvalósításához - Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé, Európai Bizottság, Brüsszel, 2011, 5/19 p.
- [9] Baldinia, G.: An early warning system for detecting GSM-R wireless interference in the high-speed railway infrastructure, Elsevier, Róma, 141 p.
- [10] Zhang, X.; Li, J.; Liu, Y.; Zhang, Z.; Wang, Z.; Luo, D.; Zhou, X.; Zhu, M.; Salman, W.; Hu, G.; Wang, C.: Design of a Fatigue Detection System for High-Speed Trains Based on Driver Vigilance Using a Wireless Wearable EEG, *Sensors* 2017, 486. <https://doi.org/10.3390/s17030486>
- [11] Nguyen, H.N., Cavalli, A.: Formal verification of coordination systems' requirements - A case study on the European Train Control System. Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE, pp. 393-396. (2014)
- [12] Faber, J., Meyer, R.: Model checking data-dependent real-time properties of the European train control system. Proceedings of Formal Methods in Computer Aided Design, 76-77. (2006) <http://doi.org/10.1109/FMCAD.2006.21>