

## Vonatbefolyásoló rendszerek funkcionális és biztonsági vizsgálata szimulációval

### 1. Bevezetés – a szimuláció célja

A számítástechnika elmúlt évtizedben lezajlott látványos fejlődése minden korábbit felülmúló pontosságú és részletességű szimulációs rendszerek létrehozását tette lehetővé. Szinte észrevétlenül a vasúti technikának is fontos részei lettek a különféle célú szimulációs alkalmazások. Sok vasút használ szimulátorokat oktatási célokra, hogy meggyorsítsa az új rendszerekre történő áttérést (pl. a forgalmi dolgozók és a mozdonyvezetők oktatása Németországban fejlett szimulátorokon történik). Több európai cég és intézet rendelkezik saját szimulációs környezettel különféle hardverelemek vagy akár teljes rendszerek vizsgálatára (pl. egy lehetséges hiba hatásainak elemzéséhez). Napjainkban kifejezett igény hogy egy adott rendszerrel elért eredmények látványosan, minél közérthetőbb formában megmutathatóak legyenek, erre pedig a szimuláció a legalkalmasabb eszköz (1. ábra). Végül pedig, elképzelhető hogy a jövőben a vasúti balesetelemzésben egyre nagyobb szerepet kaphatnak a szimulátorok.



1. ábra. Egyszerű ETCS szimuláció demonstrációs célokra a BLS Alptransit mitholzi információs központjában (Vincze B. Gy. felvétele)

Ahogy az ERTMS/ETCS rendszer terjed Európában, egyre nagyobb az igény új, innovatív megoldásokra a rendszerkomponensek fejlesztésének és tesztelésének felgyorsítására, illetve pontosabbá tételére. Így nem meglepő, hogy a klasszikus módszerek mellett itt is megjelent a számítógépes szimuláció, ezen belül is előtérbe került az autóiiparban már régebben elterjedt valós idejű HIL (Hardware-In-the-Loop: valódi berendezések szimulált környezetben) módszer, amelyet több európai fejlesztőközpontban is sikerrel alkalmaznak.

A cikk keretében igyekszünk átfogó képet adni a vonatbefolyásoló rendszerek vizsgálatához használt korszerű szimulációs rendszerekről, és bemutatunk egy, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen kifejlesztett, kísérleti szimulációs rendszert, valamint néhány vizsgálati eredményt. [2] [3]

## 2. Vonatbefolyásoló rendszerek és a szimuláció

Talán minden vasútüzemi berendezés közül a vonatbefolyásoló rendszerek vizsgálata a legbonyolultabb és legösszetettebb feladat. Ez többek között a vonatbefolyásoló rendszerek sokoldalú kapcsolatrendszeréből adódik: egy vonatbefolyásoló rendszer szoros kapcsolatban van

- az állomási és a vonali biztosítóberendezésekkel (pl. helyhez kötött, biztosítóberendezés által vezérelt pályaelemek),
- a járművel, annak dinamikai viselkedésével (legfőbbképp a fékezési folyamattal, és annak minden bizonytalanságával),
- magával a járművezetővel (hiszen leginkább az ő hibáit kell korrigálnia).

Mindezekből értelemszerűen következik hogy egy vonatbefolyásoló rendszer szimulációs vizsgálatának pontossága attól függ, hogy a fenti „összetevők” közül mennyit és milyen minőségben vagyunk képesek a virtuális környezetben összekapcsolni.

Mivel időszzerűvé vált a már meglévő, de országonként eltérő rendszerek integrálása, illetve egységesítése, olyan univerzális szimulációs eszközökre van leginkább igény, amelyek egyszerűen és gyorsan módosíthatóak. Erre azért van szükség, hogy a szimulációs eszközök alkalmasak legyenek akár teljesen eltérő elven működő rendszerek vizsgálatára (pl. ETCS fedélzeti berendezés STM moduljai), vagy azonos eszközök eltérő környezetben történő vizsgálatához (pl. egy ETCS fedélzeti berendezés együttműködése eltérő elvek alapján felprogramozott balízzokkal).

Számos európai intézetben foglalkoznak vonatbefolyásoló-specifikus (ezen belül is leginkább ERTMS/ETCS-szel kapcsolatos) szimulációkkal [1]. Ezekről (a teljesség igénye nélkül) az 1. táblázat nyújt rövid áttekintést.

Intézet	Rendszer	Cél	Megjelenítés	Bizt. berendezések	Vonatbef. rendszer	
					Pályamenti	Fedélzeti
CEDEX, Madrid (Spanyolország)	EMSET	Fedélzeti ber. konformitás tesztek	-	-	szimulált	valódi, HIL
DLR, Braunschweig (Németország)	RailLab	Konformitás tesztek, biztonsági elemzések, funkcionális vizsgálatok	Egyszerű, 3 dimenziós modullal kiegészíthető	Szimulált	Szimulált vagy valódi (HIL)	Szimulált vagy valódi (HIL)
ERRI, Utrecht (Hollandia)		Funkcionális tesztek	-	Szimulált	Szimulált	Szimulált
Drezdai Műszaki Egyetem (Németország)	Railway Lab	Oktatás	-	Valódi és szimulált	Szimulált	Szimulált
DB AG, München (Németország)	TC Sim	Járművezetők oktatása, demonstráció	3 dimenziós	Szimulált	Szimulált	Szimulált
BME (Magyarország)	RailCMS 3D	Bizt. elemzés, funkcionális vizsgálatok, demonstráció,	Síkbeli és 3 dimenziós	Szimulált	Szimulált, HIL lehetséges	Szimulált, HIL lehetséges

		oktatás				
--	--	---------	--	--	--	--

*1. táblázat. Szimulációs rendszerek vonatbefolyásolók vizsgálatára*

A fenti rendszerek közül kimagasló a RailLab, amely a DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) vasúti témákkal foglalkozó intézetének (Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung) koncepciója alapján készült. Ez egy olyan tesztkörnyezet, amely jó struktúráltsága és moduláris felépítése révén alkalmas ERTMS/ETCS rendszerkomponensek konformitásvizsgálatára. Mind a fedélzeti, mind a pályamenti berendezések tesztmoduljai lehetnek valódi hardverek vagy szimulációs szoftver modulok. A járműdinamika, a vasúti pálya, a biztosítóberendezések és a kommunikációs utak (rádió, balíz, hurok) teljes egészében szimuláltak. A teljes rendszer legalább négy PC-ből áll, így az egyes főbb szoftvermodulok fizikailag is elkülönülnek. A gépek hagyományos TCP/IP hálózaton kommunikálnak egymással, jellegzetesen alkalmazott szoftvereszköz a MATLAB.

Ugyancsak figyelemre méltó a DB saját tesztlaborja, amely a németországi 2. szintű ETCS pilotprojektjében játszik fontos szerepet a hardver és szoftver elemek vizsgálatában (ld. 2. ábra).



*2. ábra. A DB bitterfeldi ETCS tesztlaborja (fotó: DB)*

Különleges szimulációs alkalmazás a DB AG Münchenben található „TC Sim” rendszere, amely valóság-hű kezelőszervekkel és realiztikus háromdimenziós megjelenítéssel rendelkezik. Elsődlegesen oktatási és demonstrációs célokra használják, de egy ilyen képességekkel felvértezett rendszer kiválóan alkalmas az ember-gép felületek ergonómiájának vizsgálatára is.

### 3. A kifejlesztett rendszer – RailCMS 3D (Common Modular Simulator)

#### 3.1. Alapelvek

Az eddig bemutatott szempontok szerint egy univerzális, több különböző vonatbefolyásoló rendszer szimulációjára alkalmas rendszerrel szemben támasztott követelmények a következőkképpen fogalmazhatóak meg:

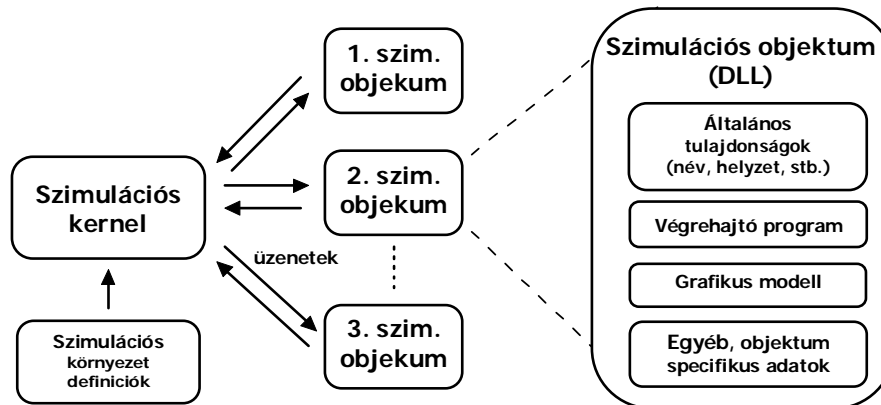
- A szimulációs rendszer a minden-egyben elvet kövesse, tehát minden fentebb felsorolt célra alkalmas legyen (vizsgálat, HIL tesztelés, oktatás, demonstráció). A tervezés során a szimulációs rendszer egyik legfontosabb feladata a hibamód és hatás elemzések készítése (a rendszer gyenge pontjai által okozott hatások felmérése).
- Modularitás: a rendszer olyan modulokból álljon, amelyek egyaránt lehetnek virtuális szimulációs egységek (pl. egy adott berendezés modellje) vagy valódi hardverek (tehát HIL tesztelésre alkalmas legyen az architektúra).
- Legalább valós idejű működés: Ez elengedhetetlen akkor, ha HIL tesztelésről van szó (hiszen, nem valószínű hogy egy célhardver hajlandó lenne „lassítva” vagy „felgyorsítva” működni), vagy ha a rendszert oktatási célokra is szeretnénk alkalmazni. Mindemellett meg kell hagyni a lehetőséget arra, hogy a szimuláció önmagában valós időnél gyorsabban is képes legyen futni (nagyobb sebesség – pl. rövidebb funkcionális tesztelés).
- Nyílt architektúra: Ez azt jelenti, hogy a rendszert úgy kell megkonstruálni, hogy bárki képes legyen ahhoz új szimulációs modulokat hozzáadni, a szimulációs mag módosítása nélkül.
- Nincs korlátozás a felhasználható programozási nyelveket illetően. Bármelyik szimulációs modul bármilyen programnyelven és eszközzel megírható legyen.

A legtöbb vasúti szimulációs rendszer igyekszik kihasználni azt, hogy a vasúti járművek kötött pályán, csak „előre” vagy „hátra” mozoghatnak, így a grafikus megjelenítés is legtöbbször csak síkbeli ábrázolásra szorítkozik. Több vasútnál használnak járművezetők oktatására olyan kvázi-háromdimenziós rendszereket, amelyek egy mozgó jármű vezetőállásáról felvett valóság-hű pályaképet képesek a szimulált jármű sebességétől függően felgyorsítva vagy lassítva lejátszani. Itt a probléma az, hogy a „statikus” felvételekre valahogyan utólag kell a jelzők jelzéseképeit felvinni, vagy igen nagyszámú (de még így is véges mennyiségű) felvételt kell készíteni a különböző forgalmi helyzetekben.

Ezzel szemben, a Műszaki Egyetemen kifejlesztett rendszer teljesen háromdimenziós. Minden egyes szimulációs objektumnak lehet térbeli pozíciója, orientációja és grafikus modellje. Ez a fajta megközelítés egyrészt nagyon pontos dinamikai modellezést tesz lehetővé, másrészt olyan új technológiák vizsgálatát is lehetővé teszi, mint a GPS alapú helymeghatározás vagy a GSM-R. Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy ez a megközelítés ideális környezetet nyújt a rendszer oktatási vagy demonstrációs célokra történő felhasználására is.

#### 3.2. Rendszerarchitektúra

Minden egyes szimulációs objektum egy önálló dinamikus függvénykönyvtárban (Dynamic Link Library - DLL) helyezkedik el (ld. 3. ábra), és egy szabványos interfészen keresztül kommunikál a szimulációs kernellel. Ez nagyfokú flexibilitást tesz lehetővé, mivel a DLL-eket gyakorlatilag bármilyen programnyelven lehet készíteni.



3. ábra. A szimulációs struktúra

Az objektumok rendelkezhetnek egy névvel, típussal, üzenetvezérelt végrehajtóprogrammal, dialógusablakokkal, síkbeli és térbeli grafikus modellel, pozícióval, orientációval, tömeggel és még számos egyéb tulajdonsággal. A rugalmasság kedvéért azonban egyik tulajdonság megadása sem kötelező.

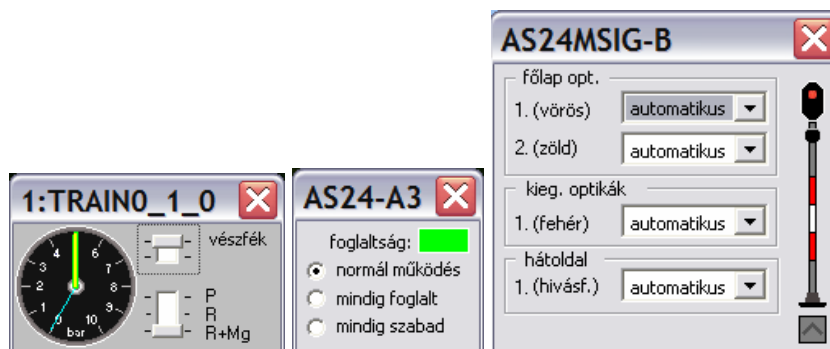
Az objektumok közötti kommunikációt és a pályára illeszkedő járműobjektumok dinamikai számításainak egy részét a szimulációs kernel végzi. A hatékony működés kulcsa a rugalmas üzenetküldő és fogadó modul. Lehetséges üzenet küldése azonnal, időzítetten, ciklikusan, szinkronizáltan egy tetszőleges objektum vagy egy objektumcsoport felé. Az objektumcsoportok kiválasztása történhet név, név töredék, típus, távolság stb. alapján, így nem okoz gondot a legkülönbözőbb vonatbefolyásoló rendszerek adatátviteli útjainak szimulálása a 3 dimenziós környezetben. Például, egy balíz-fedélzeti berendezés kommunikáció egyszerűen megvalósítható a balíz objektumtól számított 1 méteres hatótávolságú fedélzeti berendezés típusú objektumok felé küldött üzenetekkel.

A vasúti pálya és azt körülvevő környezet tervezéséhez népszerű 3D-s tervezőprogramok használhatóak (pl. MAX). Maga a vágányhálózat olyan a vágánytengelybe eső térbeli sokszögvonallakkal van leképezve, amelyek csomópontokban kapcsolódhatnak. A váltókat és keresztezéseket a rendszer a geometria alapján deríti fel, majd ezekből felépíti az elemi pályaszakaszok adatbázisát. Az elemi pályaszakaszok olyan önálló objektumok, amelyeken egyidejűleg csak egy aktív „menet” lehetséges (pl. egy egyszerű kitérőnél egyenes vagy kitérő irány) valamelyik irányban.

Így mivel a rendszernek csak a vágánytengelybe eső pontok sorozatára van szüksége, a tervezési folyamat jelentősen meggyorsítható. A 3D-s tervezőprogramok fejlett import/export képességei lehetővé teszik adatok átvételét olyan elterjedt vasúti tervező szoftverekből mint pl. a MXRAIL. [2]

### 3.3. Megjelenítés és kezelés

A rendszer egyaránt rendelkezik két és háromdimenziós megjelenítéssel, amelyek külön ablakokban akár egyszerre is aktívak lehetnek. A tesztfutások során az egyes objektumokat a dialógusablakaikban található vezérlőelemekkel lehet irányítani, pl. berendezéseket kezelni vagy hibákat kiváltani (4. ábra).



4. ábra. Egy személykocsi, egy sínáramkör és egy fedezőjelző dialógusablakai

### 3.4. Futtatás

A szimulációs futtatások közben minden objektumnak lehetősége van a változói (pl. foglaltsági állapot, sebesség) egységes naplózására. A naplófájlokat táblázatkezelő szoftverbe betöltve a szimulációs mérések eredményei grafikusán is megjeleníthetők. [2] [3]

## 4. Egy alkalmazási példa – ETCS fedélzeti berendezés vizsgálata

A vasúti interoperabilitás legfontosabb eleme az ETCS, annak is sarkalatos pontja az EVC, a járművek fedélzeti berendezése. Feladata biztosítani, hogy a vonat sebessége sehol ne lépje túl a megengedettet. Ehhez folyamatosan információt gyűjt, felügyel és bizonyos vezérlési feladatokat lát el. A felügyelet lényegében abból áll, hogy a fedélzeti számítógép a járműre feladott információk (pályajellemzők, menetengedélyek stb.) és a beadott vonattulajdonságok alapján folyamatosan számítja a mindenkor féggörbét. A számítások eredményétől függően beavatkozik, ha szükséges.

Egy fedélzeti berendezés (EVC) szoftverének megírása igen összetett feladat még egy igen pontos specifikáció mellett is, hiszen annak elvileg eltérő elvek szerint (pl. különböző országokban) összeállított táviratokkal is együtt kell működni. A megvalósítandó funkciókat igen pontosan az ETCS FRS (Funkcionális követelmények specifikációja) tartalmazza. Ez alól csak egyetlen kivétel van, a féggörbe számítás, azaz a dinamikus beavatkozási sebességhatárok kiszámítása. Erről ugyanis néhány egyszerű alapelv meghatározása után az FRS 4.3.2.6. pontja a következőképpen szól:

„Az, hogy pontosan milyen lassulási paramétereket kell figyelembe venni a dinamikus sebességprofil számításakor, jelenleg is kidolgozás alatt áll és később lesz a specifikációkban feltüntetve.” [5]

Világos, hogy egy ilyen specifikációnak igen könnyű megfelelni, és az egyes gyártók erősen eltérő módon implementálhatnak bizonyos kritikus funkciókat. Hovatovább ez oda vezethet, hogy, „x” ország hatósága akár meg is tilthatja „y” ország egy amúgy minden más szempontból megfelelő vontatójárművének közlekedését a hálózaton a fedélzeti berendezés eltérő kialakítása miatt, noha az az ETCS specifikációnak 100%-ig megfelel.

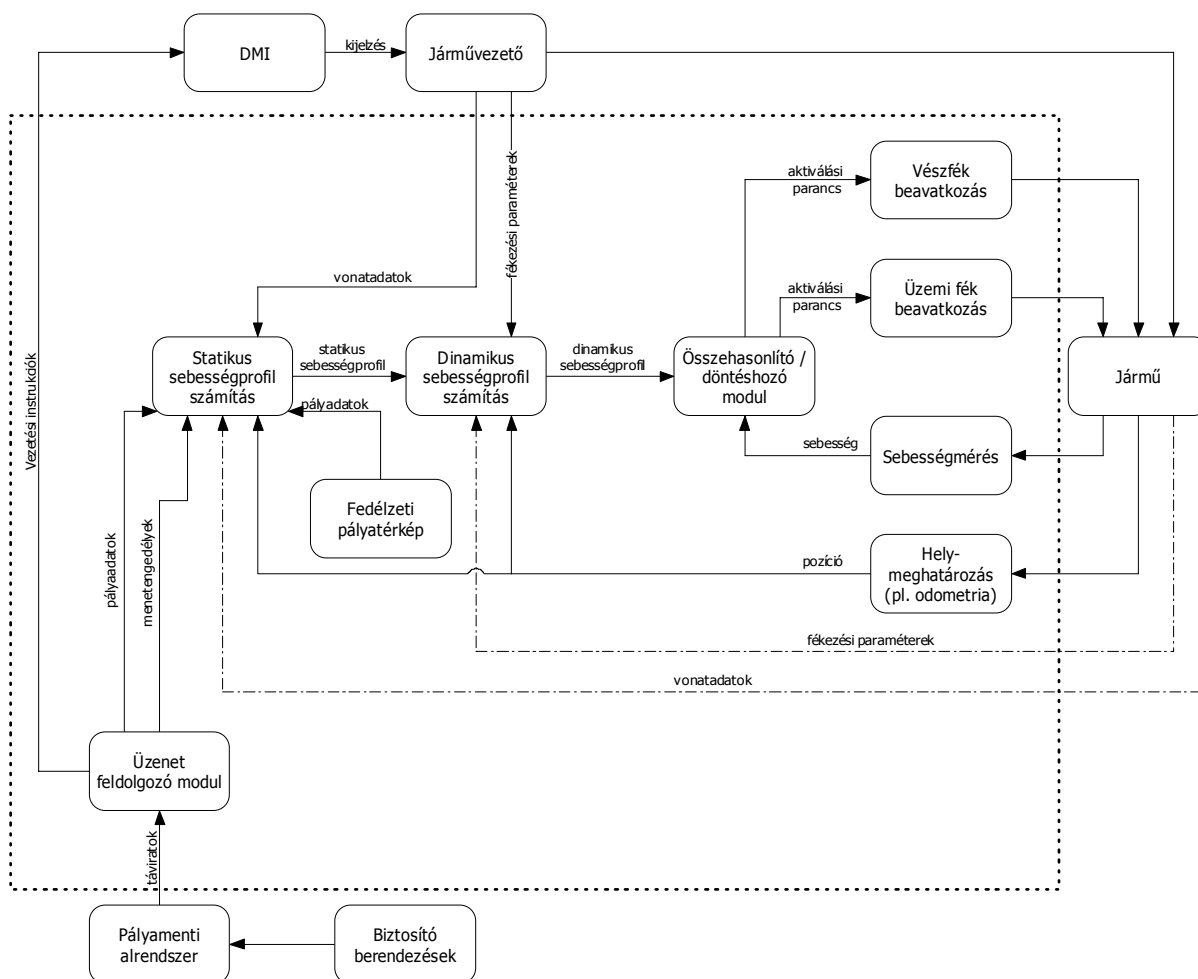
Ezzel el is érkeztünk a vizsgálatunk tárgyához. Arra a kérdésre keressük a választ, hogy az eltérő féggörbe számítási módok hogyan befolyásolják az 1. szintű ETCS rendszer egészének funkcionalitását. Valós körülmények között egy ilyen összetett probléma vizsgálata meglehetősen nehézkes, időigényes és költséges lett volna, így a már bemutatott szimulációt hívtuk segítségül.

#### 4.1. A szimulációs modell

A valós idejű dinamikai számításokhoz egy, a rendszerbe beépített dinamikai modult használtunk. A modell kalibrálását referenciaszámítások [4] [5] és GPS-szel kimért foronómiai görbék alapján végeztük. A próbafutások kétféle szerelvényösszeállítással történtek: egy V63 sorozatú villamosmozdony által vontatott rövid, tárcsafékes személyvonattal (tömeg: 370 tonna, hossz: 150 méter, fékszázalék: 150%) és egy, szintén V63 sorozatú villamosmozdonnal vontatott, öntöttvas tuskós fékekkel felszerelt tehervonattal (tömeg: 870 tonna, hossz: 320 méter, fékszázalék: 65%).

A kissé kanyargós virtuális „próbapálya”, kb. 10 km hosszú, teljesen vízszintes. A „mérőszerelvény” start-pozíciója előtt kb. 100 méterrel helyeztük el a kezdő balizokat. Az egyszerűség kedvéért ezek, a kísérletektől függően, egy 3000-4000 méter hosszú menetengedély vagy egy menetengedély és egy sebességkorlátozás táviratait adták fel a vontatójárműre.

A vontatójármű objektumához csatoltuk az ETCS fedélzeti berendezés modelljét, amelynek blokkdiagramja az 5. ábrán látható.

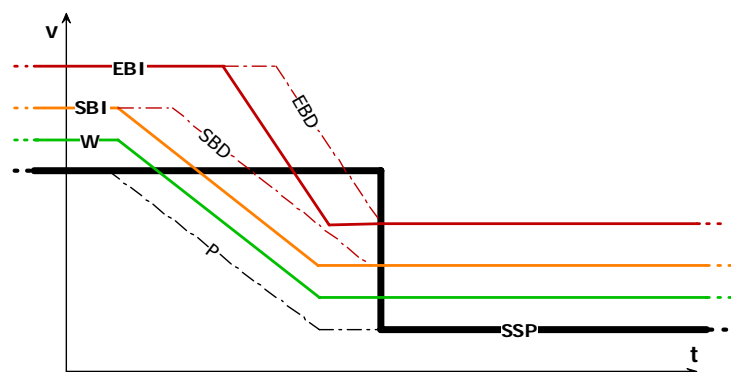


5. ábra. ETCS fedélzeti berendezés modelljének funkcionális blokkdiagramja

A ERTMS/ETCS specifikáció minden pontját betartva a pályasebességet leíró statikus sebességprofilból (Static Speed Profile – SSP), a jármű odométerrel meghatározott helyzetéből és a szerelvény lassulási paramétereiből számítottuk a dinamikus sebességprofilot. Ily módon

minden időpillanatban rendelkezésre állnak az 6. ábrán feltüntetett, a felügyelethez szükséges sebességértékek (csökkenő sorrendben):

- A vészfék beavatkozási sebesség (Emergency Brake Intervention speed, röviden  $V_{EBI}$ ), melyet túllépve azonnal vészfékezés következik be,
- A vészfékezési határsebesség ( $V_{EBD}$ ), amelyről feltételezzük, hogy a vonat vészfékezés közben nem lépi túl,
- az üzemi fék beavatkozási sebesség (Service Brake Intervention speed,  $V_{SBI}$ ), melyet túllépve üzemi fékezés következik be,
- Az üzemi fékezési határsebesség ( $V_{SBD}$ ), amelyről feltételezzük, hogy a vonat üzemi fékezés közben nem lépi túl,
- a figyelmeztetési sebesség (Warning speed,  $V_W$ ), amelynek meghaladása vizuális és akusztikus figyelmeztetést eredményez,
- és végül a megengedett sebesség (Permitted speed,  $V_P$ ), mely alapján a mozdonyvezetőnek a járművet vezetnie kell.



6. ábra. A dinamikus ( $EBI$ ,  $SBI$ ,  $W$ ,  $P$ ,  $EBD$ ,  $SBD$ ) és a statikus sebességprofil ( $SSP$ ) görbéi az idő függvényében

A felügyeleti sebességértékek nagysága mindig a fenti sorrend szerinti, számításuk kétféle algoritmus szerint történik, attól függően hogy a vonat éppen célra fékez, vagy konstans sebességprofil szerint halad. Például, a vészfék beavatkozási sebesség, állandó megengedett sebesség ismeretében, a

$$dv_{EBI} = \text{Min}(dv_{EBImin} + C_{EBI} \cdot v_P, dv_{EBImax})$$

$$v_{EBI} = v_P + dv_{EBI}$$

összegfüggésekkel számítható, ahol  $dv_{EBImin}$  és  $dv_{EBImax}$  a minimális és maximális pozitív eltérés a megengedett sebességtől (5 és 15 km/h),  $C_{EBI}$  pedig egy konstans. Az üzemi fék beavatkozási és a figyelmeztetési sebesség eltérése a megengedetttől a vészfék beavatkozási sebesség eltéréseinek ( $dv_{EBI}$ ) valahányad része lehet (pl. 2/3 és 1/3-a). [5]

Tehát, végeredményben a fékgörbe számítás abból áll, hogy a fedélzeti berendezés minden egyes számítási ciklusában meghatározza az adott helyen és időben érvényes figyelmeztetési és beavatkozási sebességeket. Ezt követően a kapott értékeket összehasonlítja az aktuális sebességgel, és szükség esetén figyelmeztet vagy beavatkozik.

A helyzetet bonyolítja, hogy az ETCS több egy egyszerű vonatmegálló rendszerrel. Így a fékgörbéket nemcsak a legközelebbi fékezési célpontra (amely nem csak jelző lehet, hanem pl. egy töréspont a sebességprofilban) kell meghatározni, hanem az összes ismert célpontra egy adott távolságon belül, majd a kapott legszigorúbb (azaz legkisebb sebességet előíró) görbét kell figyelembe venni.



Látható, hogy fékgörbék számításának pontossága alapvetően két dologtól függ:

- milyen pontosan tudjuk a fékezési célpont(ok) és az odáig tartó pályaszakasz adatait (pl. lejtés, statikus sebességprofil),
- milyen pontosan tudjuk, hogy a szerelvény hogyan tud lassulni (fékviszonyok).

Nyilvánvaló hogy a technikai adottságok miatt ez utóbbi az, ami a bizonytalanságot és így a gondot okozza. [4] [6]

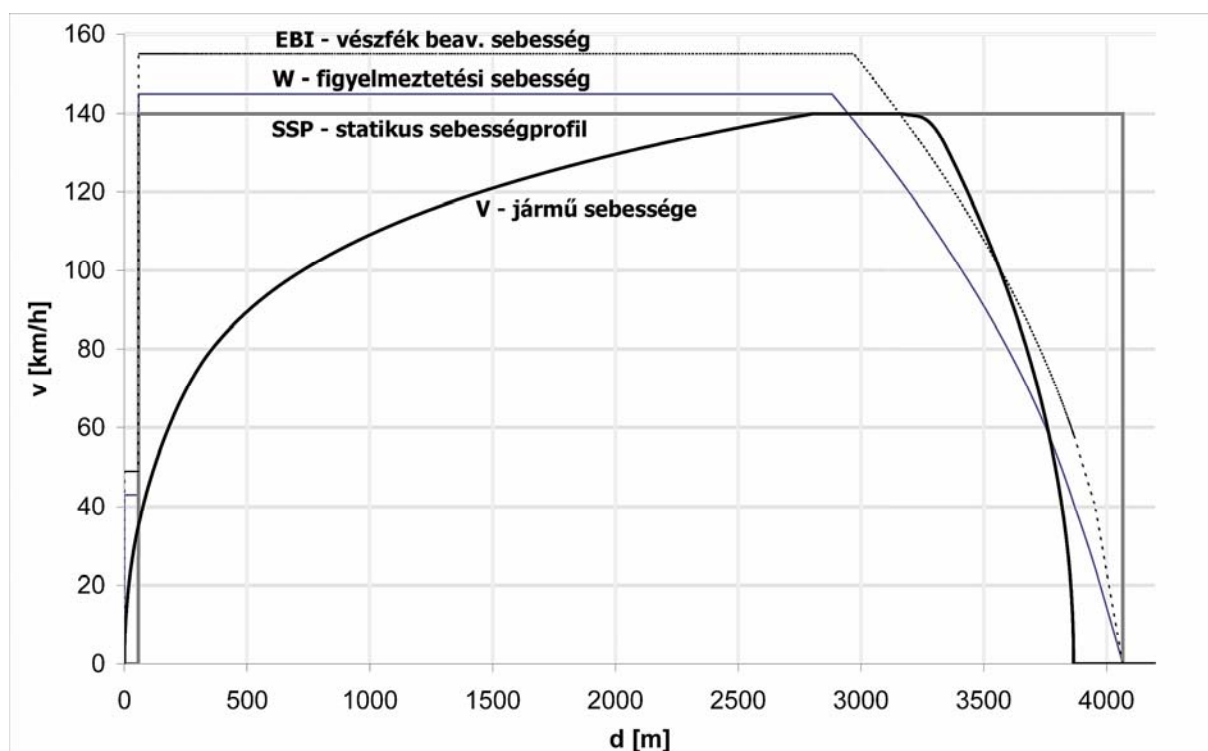
#### 4.2. Szimulációs mérések

A vizsgálatokhoz a vonatmegállító rendszerekben gyakran alkalmazott „közepes lassulás” módszerét implementáltuk a fedélzeti berendezés modelljébe. Ennek az a lényege, hogy a teljes fékezési folyamatra egy olyan állandó lassulásértéket határozzunk meg, amely figyelembe veszi a fékrendszer késleltetését, és pl. a tuskós fékek nem állandó lassulást produkáló viselkedését is. Hasonlóan több működő vonatmegállító rendszerhez, a lassulásértéket a „Mindeni” formulából levezethető

$$a_k = 0,06 + 0,006 \cdot \lambda\%$$

(már biztonsági ráhagyást is tartalmazó) képlettel határozzuk meg, ahol  $\lambda\%$  a fékszázalék. [4]

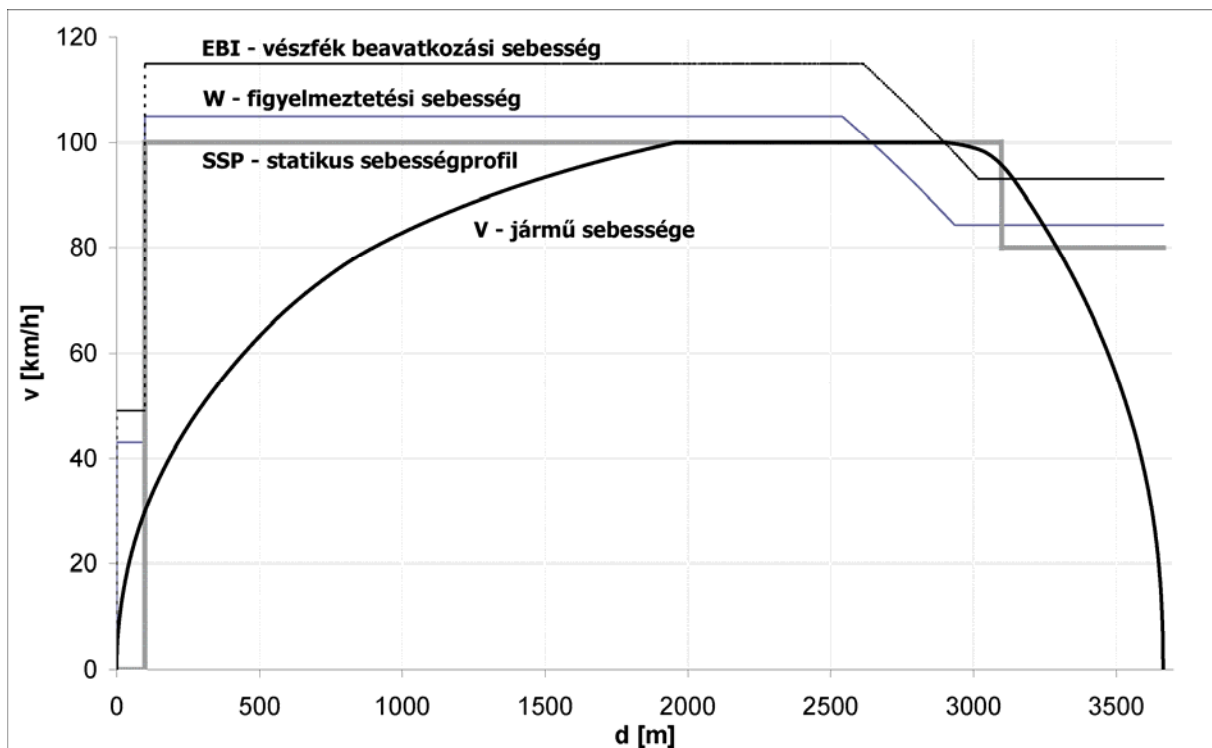
Az egyszerűség kedvéért az üzemi fék beavatkozást kiiktattuk. A személyvonattal végzett számos próbaút eredménye a 7. ábrán látható.



7. ábra. Próbaút eredményei 140 km/h-ról önműködően vészfékező személyvonattal

A kísérletek azt mutatták, hogy ha a fékszázalék megadása elég pontos, az ETCS mint vonatmegállító rendszer ezzel az eljárással tökéletesen működik, még bőven maradt biztonsági tartalék is a fékútban. Egészen más a helyzet viszont, ha nem a megállásig tartó

fékezéseket vizsgálunk. Különösen a tehervonattal végzett futásoknál (8. ábra) előfordult hogy a szerelvény pl. a 80 km/h-s sebességkorlátozásig még vészfék beavatkozás ellenére sem tudta kellően csökkenteni a sebességét (8. ábra).



8. ábra. Próbaút eredményei 100 km/h-ról önműködően vészfékező tehervonattal

Ez az eredmény korántsem meglepő. Ugyanis, az amúgy fizikai jelentéssel nem bíró fékszázalék csak megállásig tartó fékezéskor érvényes. Az igazán korrekt fékgörbe számítás valódi problémája tehát az, hogy általános esetben a vasútüzem mai berendezkedése mellett a fékszázalékon és a vonathosszon kívül gyakorlatilag nem áll rendelkezésre más adat, amiből gazdálkodhatnánk.

A számítást nem megállásig tartó fékezéskor egy késleltetési idő hozzáadásával kiegészítve „helyreáll a rend”. Ennél lényegesebben pontosabb számításhoz csak a jóval gépigényesebb numerikus integrálással juthatunk. [2]

Fontos megjegyezni hogy az ETCS fedélzeti berendezés működésének csupán legdrasztikusabb módja a kényszerfékezés, hiszen mind haladáskor, mind célra fékezéskor általában már a felügyelt sebesség 5 km/h-s túllépésénél hangjelzést ad, ami már önmagában komoly előrelépés a meglévő EVM rendszerhez képest.

## 5. Összegzés

Tény, hogy vonatmozgás bonyolult kinetikája miatt egy szimuláció nem tudja minden esetben helyettesíteni a valós méréseket. Azonban, az általunk végzett kísérletek kiválóan demonstrálták hogy a szimuláció a tervezés és vizsgálat legkülönbözőbb fázisaiban felbecsülhetetlen segítséget nyújt.

A vizsgálatok eredményei rámutattak arra, hogy

- igazán pontos fékgörbe számítás csak zárt szerelvényben közlekedő (személy)vonatok, motorvonatok esetében lehetséges. Ez az azonban nem jelenti azt, hogy nem lehet olyan eljárást találni, amely a jelenlegi berendezés mellett általános esetben képes garantálni az elvárható biztonsági szintet. Sőt, a több évtizedes tapasztalati úton megállapított fékezési „alapképletek” is, megfelelően alkalmazva, képesek kielégíteni az igényeket.

- Az üzemi fék beavatkozás számos problémát vet fel. Mivel a biztonságot közvetlenül csak csekély mértékben befolyásolja, el kell gondolkodni rajta hogy mikor, hogyan és milyen körülmények között éri meg implementálni.

- Kellő gondot kell fordítani a fedélzeti berendezésbe bevitt fékezési paraméterek helyességére.

Összefoglalólag megállapítható, hogy az ERTMS/ETCS ugyan óriási lépés a versenyképes és egységes európai vasút felé, azonban ha pályaoldalról nem is, de a járműfedélzeti oldalról lehetséges, hogy a teljes interoperabilitáshoz vezető út még hosszú és rögös lesz.

Irodalom:

[1] Meyer zu Hörste, M., K. Jaschke, K. Lemmer: A test facility for ERTMS/ETCS conformity. In: Tarnai G., E. Schnieder: *Formal Methods for Railway Operation and Control Systems*. FORMS 2003 Budapest, 2003 pp. 281-285

[2] Vincze, B., ETCS-szel támogatott vonali sorompók szimulációs vizsgálata, *Diplomaterv BME Közlekedésautomatikai Tanszék Budapest*, 2003, p. 1-107

[3] Vincze, B. and G. Tarnai. Examination of level crossings on ETCS equipped lines with complex simulation. *Advances in Electrical and Electronic Engineering (AEEE) No.2 / Vol. 3/2004 Žilina*, 2004 pp. 345-378,

[4] AET / Archiv Für Eisenbahntechnik 43 : Grundlagen der Schienenfahrzeugbremse. Haestra-Verlag 1990

[5] ERTMS/ETCS Consortium: ERTMS/ETCS – Class 1 System Requirements Specification. (1999)

[6] Sauthoff, F.: Der Bremsbeamte, ISBN 3-7808-0096-9 (1972)

[7] Schurig, J., T. Beier, B. Jäger: Signalling solutions for secondary lines in 2015 In: *Žel 2005 Zborík prednások (1. diel) Žilina*, pp. 217-223 (2005)