

Közúti vasúti közlekedés kockázati kérdései az alacsony sebességű üzemmódokban

Lövetei István Ferenc*, Szabó Géza**

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
1111 Budapest, Stoczek u. 2. (Tel: (1) 4631013; e-mail: lovetei.istvan@mail.bme.hu)*

***Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
1111 Budapest, Stoczek u. 2. (Tel: (1) 4631013; e-mail: szabo.geza@mail.bme.hu)*

Abstract: Cikkünk a városi tömegközlekedés egyik meghatározó módja, a közúti vasúti közlekedés (a köznyelvben meghonosodott nevén: villamospályás közlekedés) kockázati kérdéseivel foglalkozik. Aktualitását az adja, hogy több magyarországi nagyvárosban is zajlottak/zajlanak közúti vasúti fejlesztések, illetve a fővárosban, Budapesten a cikk megírásának időpontjában is több nagy projekt folyik, illetve van tervezés alatt. Ezen megvalósítások egyik fontos kérdése a közúti vasúti közlekedés biztosítási módjának kellően biztonságos, de ugyanakkor költséghatékony megválasztása.

Azzal ma már szinte mindenki egyetért, hogy a nagyobb sebességű ($v > 15$ km/h vagy $v > 30$ km/h) közlekedés esetén olyan irányítórendszeri biztosítás szükséges, ahol az irányítórendszerek saját meghibásodásait is kellő mértékben zárják ki; más szóval biztonságintegritásuk magasabb a normál vezérlésekénél. Ugyanakkor vita tárgyát képezheti, hogy a kifejezetten alacsony sebességű ($v < 15$ km/h; pl. végállomási) közlekedések esetében ugyanilyen szintű biztosításra szükség van-e. Cikkünkben ezt a témakört elemezzük, javaslatot adva a szükséges biztosítási szint meghatározásához.

1. BEVEZETÉS

A városi kötöttpályás közlekedés több módozatával is találkozhatunk szerte a világban, és így Magyarország nagyvárosaiban is. Ide tartozik a föld alatt megvalósított (metró) közlekedés, az általában nagyobb távolságú, tipikusan városhatáron túlnyúló elővárosi vasút (HÉV); ezen két módozat közös jellemzője a hagyományos vasúti rendszerek közlekedési paramétereire való nagyfokú hasonlatosság, és ennek következtében a kialakításban, megvalósításban, biztosítás módjában, biztonság elérését célzó szabályrendszerben való nagyfokú hasonlatosság is. Ugyanakkor a városi közlekedés igen fontos kötöttpályás módja a közúti vasúti (villamos) közlekedés is - Magyarországon jelenleg Budapest, Debrecen, Miskolc és Szeged rendelkezik villamoshálózattal. A közúti vasút - neve is mutatja - a közúti forgalommal többé-kevésbé közösen, jelentős részben a közúti közlekedés szabályai szerint kerül lebonyolításra. Jellemzője az általános kötöttpályás közlekedésben alacsonynak számító 50 km/h maximális sebesség, és ebből, illetve a járművek relatíve jó fékezhetőségéből következően megvalósítható ún. látra közlekedés.

Ugyanakkor a közúti vasúti közlekedés attraktivitását, utasvonzó képességét jelentősen lehet növelni a közlekedési mód átlagsebességének növelésével. Ez egyrészt bizonyos automatizálási funkciók bevezetését igényli (pl. távvezérelt váltóállítást, akár járművezetői állítási módként megvalósítva, akár más automatizmussal, pl. vágányút - állítással

kombinálva), másrészt felveti az egyes objektumokon való közlekedés sebessége emelésének kérdését is. Így kerül képbe az ún. gyorsvillamos, amelynél egyes hosszú szakaszokon a járművek sebessége a korábban általunk maximálisnak mondott 50 km/h értéket meghaladja; de jelentheti ez a kiterőkön való áthaladás sebességének növelését is.

A sebességnövelés hatására egyre csökken a járművezető beavatkozási lehetősége; a beépülő automatizmusok (pl. váltóállítást) pedig esetleges téves működésükkel újabb veszélyforrásokat hoznak be a közlekedésbe (pl. berendezés okú aláváltást egy kiterőkön). Ennek következtében szükséges lehet növelni a biztonság elérését célzó vezérlések alkalmazásának körét, de szükséges ezen vezérlések saját hibái elleni védekezés is.

Cikkünk második fejezetében bemutatjuk a berendezési hibák hatásai elleni védekezés lehetőségeit, napjainkban megszokott módját; a harmadik fejezetben áttekintjük a magyarországi közúti vasúti gyakorlatban alkalmazott kockázati cél meghatározási módszereket - Budapest és a vidéki nagyvárosok közötti kockázati megközelítések eltérőek -, majd a negyedik fejezetben az alacsony sebességű közlekedés kockázati kérdéseit elemezzük. Cikkünk ötödik, záró fejezetében összefoglaljuk eredményeinket és megállapításainkat.

2. BIZTONSÁGINTEGRITÁS ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

A (vezérlő) berendezések belső biztonságát biztonságintegritásnak nevezik; ez a fogalom azt fejezi ki, mennyire hihetjük el, hogy a berendezés biztonságos. A biztonságintegritás több tényezőtől tevődik össze. Általában a berendezés műszaki meghibásodási jellemzőit leíró hibaráta (FR - failure rates) tartoznak ide, legalábbis azok, amelyek következtében a vezérelt folyamatban veszélyes állapot léphet fel (ezek az ún. véletlen meghibásodások); valamint a berendezés működésébe kódolt emberi (fejlesztői, gyártói stb.) hibák (ezek mindig szisztematikus hibák, vagyis azonos külső körülmények mellett azonosan jelentkeznek) elleni védelem szintje, az ún. biztonságintegritási szint tartozik ide.

Természetesen fontos cél, hogy egy adott vezérlőberendezés fejlesztésének kezdetén (korai szakaszban) rendelkezésre álljanak a biztonsági célkitűzések: ezek a fentieknek megfelelően a maximális hibaráta az egyes meghibásodási módokra (eltűrhető veszélyességi ráta - tolerable hazard rate, THR); valamint az elvárt biztonságintegritási szint (safety integrity level, SIL). A THR értékek valós számok, általában 1/óra dimenzióban; minél kisebb a szám, annál nagyobb a követelmény, mert annál kisebb a megengedett veszélyes meghibásodás gyakorisága; míg a SIL szintek SIL1 - SIL4 közötti diszkrét szintek, ahol SIL4 a legnagyobb biztonsági követelmény; itt szokás SIL0-val a nem biztonságreleváns követelményeket is jelezni. E kettő meghatározása szorosan összefügg, hiszen kár olyan megbízható berendezést készíteni, amelynek igen csekély a véletlen meghibásodási eseménytere, de a fejlesztési hiányosságok miatt gyakran valósul meg a szándékolttól eltérő működés; és visszafelé is: gyenge, sok meghibásodást produkáló hardveren a magas szintű fejlesztés hatására hibamentes funkciótér sem tud javítani. Éppen ezért a vonatkozó szabványok összekötik ezen két követelménycsoport meghatározását, és a SIL meghatározás a THR érték alapján (pontosabban a THR értékek legszigorúbbika alapján) történik.

A biztonságintegritás meghatározásának lehetséges módjait és a biztonsági célok elérésének lehetőségeit ma már szabványok rögzítik: általános ipari célokra a funkcionális biztonságról szóló MSZ-EN 61508 [1] szabvány alkalmazandó, míg vasúti területen az MSZ-EN 50126 [2], a vasúti biztonság specifikálásáról és demonstrálásáról szóló szabvány és kapcsolódó szabványai az érvényesek.

Röviden összefoglalva a biztonságintegritási követelmények teljesítését az alábbiak mondhatók el:

A véletlenszerű meghibásodásokkal szembeni követelményt jelentő THR teljesítése a hardver architektúra megfelelő megválasztásával és a komponensek kiválasztásával, működési körülményeik meghatározásával teljesíthető. Növekvő THR követelmény (ami csökkenő THR értéket jelen) esetében vagy az egyedi komponens megbízhatóság növelendő (egyedi komponens meghibásodási ráta csökkentendő), vagy az architektúra változtatandó. Előbbi megvalósítható egyre megbízhatóbb komponensek

beépítésével, vagy a komponensek működési körülményeinek (pl. környezeti hőmérséklet) a megbízhatóságot kedvező irányba módosító megváltoztatásával (alacsonyabb környezeti hőmérséklet, alacsonyabb feszültség-igénybevétel stb.). Utóbbi esetben a redundancia fokának növelése jelenthet megoldást.

A szisztematikus hibákkal szembeni védelmet jelentő biztonságintegritási szint teljesítése a teljes berendezési életciklusra kihatással van és egyszerűsítve az alábbiak alapján próbálja a fejlesztési/gyártási/üzemeltetési hibákat a kellő szintre csökkenteni:

- A tevékenységek átlátható mértékű altevékenységekre bontása (életciklus-fázisok); a fázisok menedzselése: elindításukhoz szükséges információk és körülmények meghatározása; a fázisban elvégzendő tevékenységek és módszereik megadása; a fázis lezárásának feltételei, a szükséges eredmények specifikálása;
- Az életciklus-fázisok között áramló információ formalizálása (dokumentálása);
- Megfelelő szakképzettségű és tapasztalatú résztvevők alkalmazásának előírása;
- Emberi redundancia alkalmazása az emberi hibák kiszűrésére: fázisok független ellenőrzése (verifikáció); teljes fejlesztés független ellenőrzése (validáció); fejlesztési folyamat független ellenőrzése (biztonságértékelés, assessment).

A biztonságintegritási szint növekedése a fenti tevékenységek egyre szigorúbb, egyre szélesebb körű alkalmazását jelenti.

Könnyű belegondolni, hogy a biztonságintegritási követelmények növelése mind az eszköz fizikai kiépítése, mind a fejlesztés tényleges menete vonatkozásában jelentős többleterőforrásokat igényel, emellett a feladatok elvégzési idejét is növelik. Éppen ezért minden esetben törekedni kell arra, hogy a biztonsági követelmények optimálisak legyenek és ne állítsunk felesleges többletkövetelményeket. A megfelelő követelményállítást eszköze a kezdeti fázisban elvégzett kockázati cél meghatározási módszerek, többnyire a kockázatelemzések.

3. KOCKÁZATI CÉL MEGHATÁROZÁSI MÓDSZEREK

A magyarországi közúti vasúti közlekedés számára meghatározott kockázati célkitűzések többfajta megközelítést is alkalmaznak, így természetesen más eredményekre is jutnak.

A kockázatok értékelése előtt szükséges a kockázatelemzés elvégzése. A kockázatelemzés célja a veszélyeztetésekből eredő kockázatok azonosítása, csoportosítása és értékelése. A közúti vasúti közlekedés esetén a veszélyeztetések könnyen azonosíthatóak. Különböző veszélyelemzési módszerek léteznek [3], de az egyik leggyakrabban használt, és városi kötöttpályás közlekedés esetén javasolt módszer az FMEA. Az FMEA eljárás a lehetséges meghibásodási módokat és azok hatását vizsgálja. Egy régi rendszer esetén ez teljességgel végrehajtható, de egy új rendszer esetén ez problémás lehet,

hiszen a rendszer fizikai vizsgálata lehetetlen. Az FMEA funkciók esetén is végrehajtható elemzés, így már a fejlesztés legkorábbi fázisaiban is alkalmas arra, hogy azonosítani lehessen a biztonságkritikus funkciókat, amelyek nem, vagy téves teljesülése balesetet okozhat. A továbblépéshez szükséges e funkciók szükséges biztonságintegritási szintjének megállapítása [4].

Egyik lehetőség - amelyet általánosan alkalmaznak - a lokális kockázatkezelésből indul ki, és egy adott közlekedési szituáció kockázatait kívánja adott keretek között tartani. Ezen megközelítés eredménye egy adott közlekedő számára bármely, a közlekedésben eltöltött időpontban a kockázati szint megfelelő értéke lesz. Ugyanakkor a közlekedésben részt vevők számának növekedésével, a hálózat méretének növelésével az összesített kockázat növekedni fog. A leggyakrabban alkalmazott módszer a RiskGraph módszer, amelyet az MSZ-EN 61508-as szabvány is definiál. Más lokális megközelítés az ún. Veszélyes esemény súlyossági mátrix módszer. A RiskGraph módszert a vidéki nagyvárosokban használják, például a Debreceni Közlekedési Vállalat ZRt. (DKV ZRt.) biztonsági irányítórendszerekre vonatkozó feltétlfüzete [5] is RiskGraph módszert alkalmaz a váltóállítási funkció biztonságintegritási szintjének meghatározására.

A másik megközelítés – GAME/GAMAB, MEM és ALARP elvek - az összesített kockázatból indul ki és ezt az értéket (ennek megengedhető értékét) kívánja szétosztani az egyes veszélyes szituációk között. A GAME/GAMAB elv kimondja, hogy minden, új kötőtpályás rendszer teljességében legalább olyan biztonsági szintet kell, hogy nyújtson, mint bármely meglévő egyenértékű rendszer. Ehhez ismerni kell a meglévő rendszerek meghibásodási mutatóit, az elmúlt időszak baleseti statisztikáit. Például egy új váltóvezérlő rendszer esetén az új rendszernek legalább az előző rendszer által szolgáltatott biztonsági szintet kell biztosítania. E módszer eredményeképpen a teljes hálózatra állandó kockázat adódik, de növekedés esetén az egyes objektumokkal szembeni biztonsági elvárás fokozódik.

A MEM elv feltételezi, hogy egyidejűleg egy személyt maximum 20 műszaki rendszer veszélyeztethet, vagyis az eltűrhető kockázati ráta egy műszaki rendszerre 10^{-9} haláleset/fő/óra. A kiinduló érték a minimális halandóság értéke, amely 2×10^{-4} haláleset/fő/év. A MEM módszert alkalmazva szigorúbb biztonságintegritási követelmények adódnak, mint a GAME/GAMAB módszerrel.

Az ALARP elv kimondja, hogy a kockázatnak olyan alacsonynak kell lennie, amennyire az ésszerűen megvalósítható. A kockázatokat négy csoportba sorolja. Vannak megengedhetetlen kockázatok, ezeket mindenképpen csökkenteni kell, és vannak elhanyagolható kockázatok is. A két terület között helyezkedik el a feltételesen elfogadható kockázati terület, amelybe eső kockázatok csak akkor fogadhatóak el, ha a csökkentés kivitelezhetetlen, vagy a kockázatcsökkentés költsége nem áll arányban a kockázatcsökkentés mértékével. Ennél a módszernél az elfogadható kockázati érték meghatározása problémás lehet.

A Budapesten jelenleg érvényben lévő vezérlőberendezési előírás (Feltétlfüzet [6]) a globális megközelítési módot használja, és a felosztás eredményeképpen mind alacsony, mind magas sebességű üzemmódokra a definiált biztonsági funkciók vonatkozásában SIL2 biztonságintegritási elvárást tesz. Ez a megközelítés az alacsony sebességű üzemmódok vélhetően alacsonyabb kockázata ellenére az ilyen helyszínek magasabb száma miatt vezet erre az eredményre.

4. KOCKÁZATELEMZÉS AZ ALACSONY SEBESSÉGŰ MÓDOKRA

Az alábbiakban elemezni kívánjuk a különböző lehetséges alacsony sebességű közúti vasúti közlekedési szituációkat. Értelemszerűen olyan szituációkat választunk, amelyek rejtenek magukban kockázatokat, így elemzésre érdemesek. Ezek az alábbiak:

- Áthaladás kitérőn, aláváltás védelem.
- Végállomási közlekedés, közúti vasúti járművek veszélyeztetése a végállomás területén szemből és oldalról. Ezen eset azért kifejezetten érdekes, mert itt a legnagyobb a vezérlőberendezésekkel szembeni funkcionális elvárás, így magas biztonságintegritás mellett ezek a berendezések a legköltségesebbek. Itt vizsgálandó nem csak a biztonságintegritási követelmény, de a megvalósítandó biztonsági funkciók köre is.
- Villamos vonalak elágazása (a becsatlakozó jármű alacsony sebességgel közlekedik, de a fővonalai jármű sebességére nincs különleges megkötés).

Globális módszerek alkalmazásával a fenti szituációkra történő kockázatelemzés nehézkes, hiszen ezzel egy adott hálózat valamennyi elemére kell meghatározni a kockázati célt. A hálózaton azonban nem csak alacsonysebességű esetekben vannak jelen ezek az esetek. E mellett a módszerek nem tesznek különbséget az alacsony és a normál üzemi sebesség között. Például GAME/GAMAB elv esetén a teljes rendszerre megengedhető baleseti ráta –amelyből a rendszer valamennyi elemének megengedhető THR értéke számolható (1):

$$\lambda_c \leq col * D_m (1)$$

ahol: D_m a rendszer átbocsátóképesége (utas/óra) és col az egy utasra vetíthető balesetek száma (db). A col értékének meghatározása (2):

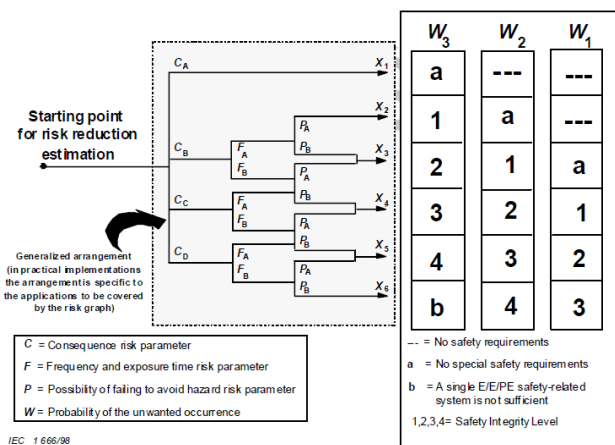
$$col = \frac{\tau_{cref}}{nc} (2)$$

ahol τ_{cref} a régi rendszerre vonatkozó érték, míg az nc az új rendszerre vonatkozó értéket jelöli. A D_m érték megállapítása és a col érték megállapítása nem függ a sebességtől, mindegy, hogy 50 km/óra vagy 15 km/óra sebesség mellett következik-e be a baleset.

MEM módszerrel, a GAME/GAMAB elvhez hasonló - fix - eredményt kapunk, amely a sebességtől szintén nem függ.

ALARP elvet használva, egy más szempontból közelítjük meg a szükséges biztonságintegritási szint kérdését. Nem határozza meg azt, hogy milyen biztonságintegritási szintet kell kialakítani, - és azt sem, hogy ez mitől függ – hanem egy már számszerű kockázati érték ésszerű elfogadásáról van szó. A hangsúly az ésszerűen elfogadható szó jelentésén van, amely sokszor szubjektív. Itt a kockázat elfogadásának területe nagy. Ha elfogadjuk azt, hogy alacsony sebességgel történő közlekedés esetén a károk is alacsonyak, akkor lehetőség van arra, hogy egy – költségek tekintetében - kedvező biztonságintegritási szintet határozzunk meg. Mindamellett tudjuk, hogy a további kockázatcsökkentés lehetséges, hiszen vasúti környezetben egy SIL2, SIL3, SIL4-es szint fizikai megvalósítása nem jelent műszaki problémát. Az alacsonyabb kockázatintegritási szint – ha feltesszük, hogy elegendő lehet – alacsonyabb költséget fog jelenteni. Már egy SIL1 szint és SIL2 szint között is jelentős költségnövekedés lehet, amely „ésszerűsége” megkérdőjelezhető. Összefoglalva azonban az ALARP elv nem ad választ a biztonságintegritási szint meghatározására.

Vizsgáljuk meg a lokális kockázati módszereket. Az első a RiskGraph módszer (1. ábra), amely alapja egy kockázati gráf.



1. ábra A RiskGraph módszer [1]

Az ábrán található jelölések:

- C: következmény, ahol:
 - C_A : kisebb sérülés
 - C_B : súlyosabb sérülés, egy vagy több személy halála
 - C_C : több személy halála, jelentős járműkár
 - C_D : sok személy halála, katasztrófa
- F: a veszélyes zónában történő tartózkodás, ahol:
 - F_A : ritkától átlagos gyakoriságig
 - F_B : gyakori tartózkodástól állandó tartózkodásig
- P: a veszély elkerülésének lehetősége, ahol:
 - P_A : lehetséges bizonyos körülmények között
 - P_B : majdnem lehetetlen, a veszélyes szituáció nem kerülhető el hatékonyan
- W: a nem kívánt esemény gyakorisága, ahol:

- W_1 : nagyon kis valószínűség
- W_2 : kis valószínűség
- W_3 : nagy valószínűség

A biztonságintegritási szint meghatározásánál a számok jelentik a szükséges SIL szintet, illetve:

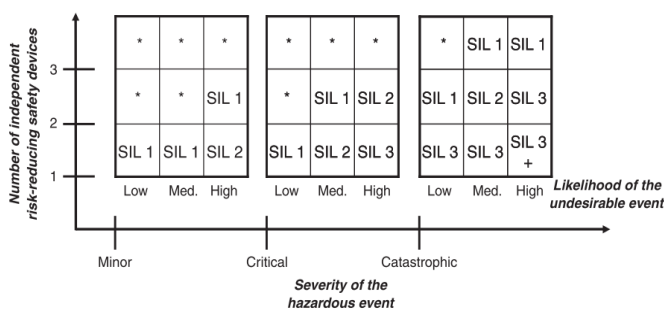
- --: nincs biztonsági követelmény
- a: nincs különleges biztonsági követelmény
- b: egyetlen biztonsági rendszer (villamos, elektronikus, programozható elektronikus) nem elegendő

A kockázati gráf módszere sem veszi közvetlenül figyelembe az alacsony sebességgel való közlekedést, azonban valószínűsíthető, hogy alacsony sebességgel való közlekedés esetén a balesetek csak kisebb sérüléssel járnak. Természetesen előfordulhat, hogy alacsony sebességgel való közlekedés esetén súlyos sérülés, vagy több személy halála is bekövetkezik, azonban ennek túlnyomó többsége nem közvetlenül a műszaki berendezések hibájához köthető. Egy szándékos vagy szándékolatlan jármű alá esés nem műszaki, hanem emberi hibákra vezethető vissza, ez ellen védekezni nehezen lehet. Tudjuk, hogy alacsony sebesség esetén a sínfékes járművek fékúttávolsága rendkívül alacsony, ezért a balesetek kis energiával következnek be, melyek következménye, hogy a sérülés is kicsi. Ezért elfogadjuk, hogy alacsony sebesség esetén a sérülések is alacsonyak. Ha ezt minden más bizonyítás nélkül elfogadjuk, akkor vizsgálhatóak a különböző közlekedési szituációk lokálisan, az alacsony sebességű közúti vasúti közlekedésre nézve. Azonban itt már felvetődik egy újabb probléma, mégpedig az, hogy az alacsony sebességgel bekövetkező balesetek következménye – kis sérülés – melyik – a kockázati gráfban szereplő – következményt jelenti. Ha az első C_A következményt, annak egyenes következménye az, hogy SIL0-ás rendszert kell kiépíteni, ami ellentmond a műszaki megfontolásoknak, hiszen egy rendszert valamely irányítói feladat elvégzésére tervezünk, amellyel szemben biztonsági követelményeket támasztani kell. A C_B következmény azonban már halesetet is feltételez, holott ennek bekövetkezési valószínűsége rendkívül alacsony. A C_B -t ebben a kérdéskörben inkább jelentősebb anyagi kárként, és a baleset elhárításának költségeként lehet értelmezni, hiszen ekkor a költségek – különösen a mentési költségek – már számottevőek lehetnek. Részletesen a forgalmi szituációk vizsgálatánál kerül további vizsgálatra.

A másik módszer a kockázati gráfhoz hasonló, grafikus megközelítési módszer (2. ábra).

A függőleges tengelyen az egymástól független kockázatcsökkentő biztonsági eszköz darabszáma látható. A közúti vasúti közlekedésben egy feladatot cél berendezéssel megvalósítani, így valamennyi mátrix alsó sora felel meg a vizsgálat tárgyának. (A rendszerek függetlenségének jelentése nem képezi a cikk témáját, de elgondolásra adhat okot az, hogy egy kétszatornás rendszer mennyire tekinthető két független rendszernek, vagy mennyire nem.) A vízszintes tengely a bekövetkezett nem kívánatos esemény – baleset – súlyossága alapján három részre van osztva. Ezen módszer szerint a súlyosság alacsony közlekedés esetén mindig a „minor” azaz

az alacsony részre fog esni. Nagyobb sebességgel való közlekedés esetén a kritikus, igen nagysebességű közlekedés (például nagysebességű vasúti közlekedés) a katasztrofális tartomány is használható. A mátrixok három oszlopa a bekövetkezési valószínűségek csoportja szerint csoportosít. Az alacsonysebességű közlekedés esetén is számítunk arra, hogy bizonyos események – a műszaki berendezések meghibásodása miatt – bekövetkezhetnek. Itt részletesebb vizsgálat tárgyát képezi az, hogy ennek mekkora lehet a valószínűsége, hiszen a biztonsági rendszereket éppen ilyen események elleni védekezés céljából építjük meg. Itt azonban látható, hogy a minor kategória első két oszlopa között nincs biztonságintegritási szint különbség, ezért az alacsony vagy közepes oszlop között érdemi különbség nincsen, így a bekövetkezési valószínűség értéke kevésbé fontos. természetesen itt azzal a feltételezéssel kell élni, hogy ez az érték semmi esetre sem a magas oszlophoz tartozik.



2. ábra A veszélyes esemény súlyossági mátrix [4]

Hátránya lokális megközelítési módnak az, hogy több kockázatsökkentő tényezőt figyelmen kívül hagy. Ilyenek lehetnek a környezeti tulajdonságok, amelyek bizonyos esetekben jelentősen csökkentik a kockázatokat, mint például a beépített környezet közelsége vagy a látási viszonyok. Ugyan ezek figyelmen kívül hagyásával a biztonság felé tévedünk, de több esetben érdemes lehet ezekkel számolni.

Vizsgáljuk meg lokális megközelítéssel a már korábban említett forgalmi szituációkat.

4.1 Váltóállítás, aláváltás védelem

Közúti vasutak esetén az egyik kritikus hely a váltók vezérlése, hiszen a legtöbb esetben nem vágányutasan, központból vezérelve, hanem egyénileg, a járművezető által vezérelve áll át a váltó az egyik állásból a másikba. E mellett, legtöbbször csak váltójelző található a váltók mellett, amely a váltón való áthaladást nem tiltja meg, csak – helyes működés esetén – informálja a járművezetőt a váltó állásáról és esetlegesen lezárt állapotáról. Az érvényben lévő utasításoknak megfelelően a váltó állásáról a járművezetőnek szemrevételezéssel is meg kell győződnie, és csak ebben az esetben lehetséges a továbbhaladás.

Itt felmerül egy eltérés a fogalomértelmezés területén. A váltójelző közúti vasúti értelemben nem biztosítóberendezés – csak jelzőberendezés, bár a váltójelző jelzési képe és a váltó között szerkezeti függés van. Amennyiben a váltóvezérlő és a

hozzákapcsolt váltójelző berendezés a feltétfüzet követelményeit kielégíti, akkor a váltóvezérlő és a váltójelző biztonsági funkciót lát el, és a váltójelző jelzési képe a valóságot kell, hogy mutassa. E mellett további funkciókkal is kell rendelkeznie, például aláváltás védelem és foglaltság érzékelés. A hibás működést detektálni kell, és a váltójelző jelzési képét le kell kapcsolni. Ilyen esetben a váltón való közlekedést az érvényben lévő jelzési és forgalmi utasítás szabályozza. Ezek mellett a főjelzővel fedezett kitérő sem minősül közúti vasúti terminológiában biztosítóberendezésnek. Tulajdonképpen a különbség a hagyományos vasúti terminológiához képest, hogy a jelzési kép a továbbhaladást nem tiltja meg, de 30 km/óra sebesség felett ez a funkció is teljesül, alacsony sebesség esetén tehát a váltójelző a váltóra való ráhaladást nem tiltja meg.

Kitérőn való áthaladás esetén (csúcs felől) az érvényes jelzési és forgalmi utasítás szerint a jelenleg engedélyezett maximális sebesség egyenes irányban, mechanikus csúcssín rögzítő szerkezettel ellátott kitérőn 30 km/óra. Ilyen esetekben csak váltójelző alkalmazása szükséges. A BKV feltétfüzet lehetőséget teremt kitérőn 30 km/óra sebességnél nagyobb sebességgel történő közlekedés lehetőségére (de ebben az esetben sem haladhatja meg az alkalmazott sebesség az 50 km/órát), ekkor főjelzőt kell alkalmazni. A főjelző jelzési képe a továbbhaladást megtilthatja.

A kitérő foglaltság érzékelése a legtöbb esetben pontszerű elemekből kialakított szakaszfoglaltság érzékeléssel történik, így a vezérlőberendezés csak akkor nyilváníthatja szabadnak a szakaszt, ha a behatási ponton lévő foglaltságot követően a kihatási pontnál lévő foglaltságérzékelő elemről oldási információ érkezik. A jármű állítási igény esetén az állítással együtt a váltót is reteszeli, függetlenül attól, hogy a behatási pontot a jármű elérte-e. Ha állítani nem szükséges, akkor a váltó reteszelése csak a behatási pontnál történik meg. A reteszelés feladata az aláváltás megakadályozása. Bizonyos helyeken – ahol a forgalom ezt indokoltá teszi – lehetőség van a betárolási funkció kiépítésére is. Ekkor, a reteszelés oldása után a váltó automatikusan átáll az ellentétes irányba, amennyiben van betárolási igény. Fontos, hogy ilyen esetben sem történhet állítás reteszelt állapotban. A jármű továbbhaladását e mellett a közúti forgalomirányító berendezés is szabályozhatja, a váltóvezérlő kapcsolatban állhat a közúti forgalomirányító berendezéssel. Ezen a kapcsolaton keresztül biztonsági funkció nem valósul meg, a váltóvezérlő csak tájékoztatást adhat. Ez a megoldás ott lehet előnyös, ahol a közúti vasúti forgalom ritkább, így a vezérlőberendezésnek csak bizonyos esetekben kell engedélyeznie azt, hogy a villamos jármű a kereszteződésben áthaladjon.

További feladat az, hogy a váltóvezérlő a váltóvas jelenlétét (kézi állítás megkezdése, lefolytatása) vizsgálja, és ilyen esetekben állítást ne engedélyezzen azért, hogy a kézi állítást elvégző személy (többnyire a járművezető maga) ne sérülhessen meg. Ilyen esetekben a váltóvas kivétele után foglaltsági információ nem lesz – hiszen a jármű a behatási ponton már áthaladt, de a váltót még nem haladta meg, így ez

egy veszélyes szituációt eredményezhet. Ezt ellensúlyozza a jelzési és forgalmi utasítás, hiszen ilyen esetben a követő jármű állítást nem kezdeményezhet.

Alacsony sebesség esetén, mint látható a legfontosabb feladat az aláváltás megakadályozása. Mindazonáltal, az aláváltás következtében járműkár minden bizonnyal keletkezni fog. Nézzük meg, hogy a két lokális módszer milyen biztonságintegritási szintet eredményez.

RiskGraph módszert alkalmazva, a CA következményt mindenképpen ki kell zárni, hiszen ebben az esetben vezérlőberendezést nem kellene alkalmazni. A CB következményt itt jelentősebb anyagi kárként kell értelmezni. Noha CC következmény is jelentős járműkárral számol, ott az utasok sérülése is komoly tényezőként szerepel. Alacsony sebesség esetén egy aláváltásnak áldozatai nagyvalószínűséggel nem lesznek. A következő paraméter az FA paraméter lesz, hiszen egy váltón való áthaladás gyakorisága nem állandó. A veszély elkerülésének lehetősége lehetetlen, hiszen egy aláváltás esetén a jármű a váltóra már ráhalad (legalábbis abban a szakaszban tartózkodik, amikor biztonsággal a váltó előtt megállni már nem tud), ezért a PB paramétert kell figyelembe venni. Az esemény bekövetkezésére kis valószínűséggel, de számítani kell, ezért a W2 oszlop lesz a mérvadó. Az eredendő biztonságintegritási szint ezért itt SIL1-re adódik, a globális módszerrel megadott SIL2 helyett.

A másik módszer szerint is SIL1-es eredményt kapunk, hiszen egy darab eszközünk van, a következmény alacsony, és a bekövetkezési valószínűség is alacsony.

Ezért mondhatjuk, hogy lokális megközelítést alkalmazva alacsony sebességű közlekedés esetén a váltóállítási és aláváltás védelem esetén a SIL1-es biztonságintegritási szint megfelelő lehet.

Azonban, ha csak ilyen környezetben vizsgáljuk a biztonságintegritási szint kérdését, akkor további kérdéseket is meg kell vizsgálni. Mi történik, ha a kitérő egy zsúfolt gyalogosjárda, sétálóutca, vagy egy zebra mellett található, Egy siklás esetén ilyenkor a környezetben tartózkodók is veszélynek vannak kitéve, még akkor is, ha ez alacsony sebességgel történik, hiszen egy villamos jármű tömege egy ember tömegéhez képest jelentős. Mi történik, ha éjszaka a látási viszonyok nem megfelelőek, és a siklás egy rosszul belátható kereszteződésben történik? Elképzelhető, hogy az autós forgalom későn veszi észre azt, hogy egy jármű az útjába került. Itt a következmények már súlyosabbak lehetnek. Mi történik akkor, ha a kitérő egy meredekebb pályaszakaszon található? A fékúttávolság sokkal nagyobb lehet ebben az esetben. Milyen gyakran kell a kitérőt állítani, akkor a veszélyes műszaki meghibásodás is nagyvalószínűséggel előbb fog bekövetkezni. Milyen lesz a karbantartás gyakorisága és minősége?

E mellett a közlekedésre a legtöbbször a három fényű holdfényjelző – kvázi forgalomirányító lámpa – is hatással

van, amely további lehetséges kockázat csökkentő, vagy adott esetben kockázat növelő szereppel bírhat.

A fentiekből jól látszik, hogy nem feltétlenül elegendő a módszerek szó szerinti alkalmazása, hanem célszerű további, lokális adottságokkal is számolni. Ezek mellett azonban megállapítható, hogy bizonyos körülmények esetén a funkció SIL1-es szinten is megvalósítható.

Debrecenben a váltóállítási esetén RiskGraph módszerrel a biztonságintegritási szint SIL2-re adódott, de itt nem alacsony sebességű közlekedés estére lett meghatározva ez a szám, így nem CB hanem CC paraméterrel lett megállapítva.

4.2 Végállomási közlekedés

Végállomási közlekedés nem jelent mást, mint a ki és behaladó járművek szembemenet kizárását és oldalvédelmi biztosítását. Több lehetőség kínálkozik a végállomási berendezések kialakítására. Az egyik az, ha valamilyen klasszikus értelemben vett biztosítóberendezés kerül telepítésre. Ekkor főjelzők alkalmazásával kell a feladatot ellátni, a vezérlést valamilyen automatikus távvezérlő rendszernek kell elvégeznie. Felmerül a kérdés, hogy egyáltalán szükséges-e ilyen berendezés telepítése, főleg ott, ahol csak és kizárólag egy irányba közlekedhetnek a járművek, tehát bonyolult vágányutakkal nem kell számolni. Látható az is, hogy Budapesten is többféle berendezés található. Ráadásul olyanra is van példa, hogy a korábban telepített berendezés helyett csak egy egyszerű váltóállítási funkció kerül kialakításra. Erre a legjobb példa a 4-6 villamosok dél-budai végállomása (mind a Móricz Zsigmond körtér, mind Újbuda központ), ahol korábban főjelző szabályozta a végállomásra történő behaladást, nemrég azonban helyettesítve lett egy hagyományos váltójelzővel. (Jelenleg a bejáratú főjelző sötét, felett egy sárga-fekete X található, és rögtön mellette egy váltójelző működik.) A kihaladásnál a főjelző szerepe sem a hagyományos értelemben vett főjelző, csupán a jármű menetrend szerinti indítását segíti, hiszen a végállomás előtti váltónak van egyedül kétféle állapota, a többi váltó rugós kialakítású, amelyen a járművek csúcs felől mindig ugyanabba az irányba fognak kihaladni. Természetesen a jelző szabadra állítása csak akkor lehetséges, ha a váltókörzet szabad, így az oldalvédelmi veszélyeztetések ellen is véd. (Intelligens rendszerekbe való integrálással ez a funkció a járműfedélzeti egységbe is integrálható, ezzel a kijáratú jelzők szerepe elhagyhatóvá válhat.) Ezzel belátható, hogy egy egyszerű állomási topológia kialakítása esetén egyedül egy vezérlési funkció, a végállomás előtti elosztóváltó vezérlésének kell megvalósulnia. Ezzel a végállomási berendezések bizonyos esetekben könnyen helyettesíthetőek egy egyszerű váltóvezérlési funkcióval, amely a járművezető közreműködésével működik, hiszen a járművezető fogja a váltó átállítását kezdeményezni.

Amennyiben a végállomási berendezés egy egyszerű váltóvezérlő berendezéssel is helyettesíthető, a biztonságintegritási szint az alacsonysebességű váltón való közlekedésnek megfelelővé válik. Végállomás előtt mindenképpen célszerű az alacsonysebességű közlekedés,

hiszen a váltó után közvetlenül a járműnek meg is kell majd állnia. Azok a kérdések, amelyek ott felmerültek, itt is aktuálisak, de további kérdések is felmerülhetnek. Végállomás esetén, ha nem alkalmazunk bejáratit főjelzőt, csak váltójelzőt, az a szembemenesztés és az oldalvédelmi veszélyeztetés témakörét is érinti. Mi történik akkor, ha akkor kell egy járműnek a végállomásra elindulnia, amikor behaladó jármű érkezik a másik vágányra? Minden bizonnyal vagy az induló, vagy az érkező járműnek várakoznia kell. Alacsony sebesség esetén a lehetőség adott a járművek időbeni, biztonságos megállására, de ennek betartása és szabályozása fontos. Ne felejtjük el azonban azt sem, hogy a kijáratit jelzőn megjelenő szabad fény megjelenését a váltó ráfutási szakaszának figyelésével egyszerűen korlátozni lehet. Mennyire belátható éjszaka a végállomás bejárata? Ha nem lehet megfelelően kivilágítani a váltóközvetet, akkor ugyancsak célszerű komolyabb jelzőberendezések alkalmazása.

Itt is fontos megvizsgálni a végállomási vágány topológiát. Bizonyos esetekben szigorúan olyan berendezéseket kell alkalmazni, amelyek a továbbhaladást megtiltják, például egy nem belátható végállomási bejáratánál - Széll Kálmán tér Krisztina krt. felé eső része - vagy ott, ahol több vágánykapcsolat és bonyolultabb állomási topológia van - Bécsi út végállomás - ahol nem dönthető el egyértelműen, hogy az érkező jármű milyen vágányúton fog közlekedni. Ilyen esetekben a kialakítandó jelzőberendezés biztonságintegritási szintjének célszerűen - a sok féle kockázati tényező miatt is - SIL2-re kell lennie.

Itt is megállapítható, hogy bizonyos körülmények esetén egy egyszerű végállomási topológia mellett SIL1-es szintű berendezés alkalmazása megfelelő lehet. Nem szabad arról sem megfeledkezni, hogy a járművek közlekedését a berendezések mellett igen komoly jelzési és forgalmi utasítások szabályozzák, amelyeknek a betartása a járművezető kötelezettsége. Mindenkor feltételeznünk kell, hogy a járművezető a képességeinek megfelelően, az utasítások szerint jár el.

4.3 Villamos vonalak elágazása

Ebben a cikkben azokat a vonali csatlakozásokat vizsgáljuk, ahol nem forgalomirányító lámpa szabályozza a csomópontra történő behaladást. (Ilyen csatlakozási pont Budapesten pl. a 18-41,47 vonalak csatlakozása a budafoki kocsiszín előtt, a 12-14 vonalak csatlakozása Rákospalotán, vagy a 41-47 vonalak csatlakozása a budafoki elágazásnál. Itt is megjelenik a váltóállítási funkció, azonban az oldalvédelmi veszélyeztetés jelentős. Felmerül a kérdés, hogy ezeken a helyeken milyen irányítóberendezést szükséges telepíteni. Az előbb említett példákban a budafoki elágazásnál nem található semmilyen jelzőberendezés, csak az elosztó váltó vezérlése - és a hozzátartozó váltójelző - van jelen. Ennek az az oka, hogy közvetlenül a vonalcsatlakozásnál megálló is van, így a jármű csak megállás után haladhat tovább, azonban egy épület is akadályozza a szabad kilátást. A Budafok kocsiszín melletti elágazásnál fedező jelzők kerültek kiépítésre, amely mindhárom irány (egy csúcs felől és két gyök felől) fedezését

ellátják, a jelzések a forgalom továbbhaladását megtilthatják. Itt az is fontos, hogy az egyik irány a csatlakozás után lejtőn lefelé folytatódik, így a kereszteződés nem jól belátható. Rákospalotán csak a gyökfelőli irányok rendelkeznek fedező jelzővel, az elosztó váltónak csak váltójelzője van. A domborzati és környezeti viszonyok nem ideálisak, a z elágazás három ága 3 különböző lejt viszonyú szakasszal folytatódik tovább. Ez azt jelenti, hogy a három hasonló elágazásnál három különböző berendezés működik, és a beláthatóság sem teljesül maradéktalanul.

Az elágazásokra jellemző, hogy gyök felől kitérő irányból 15 km/órával járhatóak, míg egyenes irányból 30 km/órával, de elképzelhetőek olyan elágazások, ahol egyenes irányból ennél nagyobb sebességgel is lehet közlekedni. Ez egyben azt is jelenti, hogy két jármű nem szándékos találkozásakor a sebességkülönbség jelentős lehet.

Két jármű oldalvédelmi veszélyeztetésének következményei még alacsony sebesség esetén is sokkal súlyosabbak lehetnek, mint egy váltón való siklás. Egy utasokkal teli szerelvénybe történő belerohanáskor nagyvalószínűséggel a jelentősebb járműkár mellett jelentősebb személyi sérülés is történhet. Nyilvánvaló, hogy jelzőberendezések alkalmazása célszerű, amelye mindhárom irány egyidejű fedezése mellett a váltóállítás - és a hozzákapcsolódó funkciók - feladatát is ellátják. Vizsgáljuk meg lokális módszerekkel, mekkora biztonságintegritási szinten kell az ilyen berendezéseket kiépíteni.

RiskGraph módszerrel az eggyel nagyobb következményt, a CC-t választjuk az oldalvédelmi veszélyeztetés következményei miatt. Az FA, PB és W2 paraméterek értéke nem változik, így az eredmény SIL2-es szintre adódik. Itt láthatóan a nagyobb sebesség és az oldalvédelmi veszélyeztetés miatt nő meg a kívánt biztonságintegritási szint.

A veszélyes esemény súlyossági mátrix esetén célszerű a alacsony kategóriából a kritikus kategóriára áttérni, hiszen a következmény két jármű összeközésekor jóval súlyosabb esetet jelent. Azonban a bekövetkezési valószínűség továbbra is alacsony, így a mátrix szerint a SIL1-es biztonságintegritási szint megfelelő. Itt két különböző eredményre jutunk a két módszer alkalmazásával.

Vizsgáljuk meg az esetleges kockázatsökkentő körülményeket, ha egyáltalán vannak ilyenek! A példából látható, hogy ilyen tényező a megállóhely otléte, hiszen így a járműnek mindenképpen meg kell állnia közvetlenül a becsatlakozás előtt. A lejtviszonyok azonban növelik a baleset bekövetkezésének valószínűségét, így azok növelő tényezőként jelentkeznek.

Ebben az esetben az oldalvédelmi veszélyeztetés szerepe jelentős lehet, így célszerű az ilyen elágazásokat SIL2-es szintű berendezéssel felszerelni, de ideális körülmények mellett a SIL1-es szint is megfelelő lehet. Ilyen körülmény lehet, ha a lejtviszonyok kedvezőek, az elágazás bármely irányból maximum 30 km/órával közelíthető meg, és ezek mellett a látási körülmények ideálisak, az elágazás minden irányból megfelelően belátható. A körülmények ilyen

együttállása ritka – a fenti három példa egyike sem ilyen -, de új vonalak tervezésekor ez megfontolandó lehet.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a cikk az alacsonysebességű városi közúti vasúti közlekedés biztonsági kérdéseivel foglalkozik. Röviden foglalkozik a biztonság alapvető definícióival, majd részletesen elemzi a jelenleg a vasúti közlekedésben használatos kockázatértékelési módszereket. Ezek után részletesen foglalkozik az alacsony sebességű közlekedés esetén több funkció biztonságintegritási szintjének megállapításával, és a korábban bemutatott módszerekkel meghatározza azokat. E közben több problémát is felvet, amelyek az eredményeket befolyásolhatják, és ezekhez köthető megállapításokat tesz.

Megállapítható, hogy bizonyos körülmények esetén elegendő a váltóállítási funkció SIL1-es biztonságintegritási szinten történő kialakítása, lokálisan figyelembeveendő tényezők mellett.

Megállapítható, hogy bizonyos körülmények mellett a végállomási berendezések egyszerű váltóállítási funkcióként megvalósíthatóak SIL1-es biztonságintegritási szinten. A lokális körülmények a szükséges biztonságintegritási szint kialakítását nagyban befolyásolhatják.

Megállapítható, hogy a nem forgalomirányító lámpával szabályozott elágazások esetén célszerű a SIL2-es szintű berendezések megtartása, és telepítése. SIL1-es szintű berendezések felszerelése csak ideális környezeti körülmények (lokális körülmények) esetén fontolható meg.

Összességében megállapítható, hogy a lokális módszerek alkalmazása több esetben kedvezőbb eredményre vezethet, mint a globális módszerek használata. Alacsony sebességű közlekedés esetén több esetben elegendő lehet a jelenleg előírt SIL2-es biztonságintegritási szintnél alacsonyabb, SIL1-es biztonságintegritási szint alkalmazása. Fontos megjegyezni, hogy a környezeti körülmények nagyban befolyásolhatják a

biztonságintegritási szintet, amely alapján a berendezéseket tervezni kell. Az alacsonyabb biztonságintegritási szint nem jelenti azt, hogy egy rendszer kevésbé biztonságos, csupán azt, hogy az a cél, amelyet meg kell valósítani, ezen a szinten is megvalósítható, és ezen a szinten megfelelő biztonságot ad. Ezt tekinthetjük úgy is, hogy bizonyos esetben a SIL1-es szint jelentheti az optimálisabb megoldást. A biztonságintegritási szintek közötti jelentősebb költségkülönbségek lehetnek, ezért az alacsonyabb szint kiépítése kevesebb költséggel is jár. Mindamellet fontos leszögezni, hogy csak kellően meggondolt, és alaposan megvizsgált körülmények mellett lehet SIL2-es biztonságintegritási szint helyett SIL1-es szintet alkalmazni.

REFERENCIÁK

- [1] MSZ EN 61508-1:2010. Villamos / elektronikus / programozható elektronikus biztonsági rendszerek működési biztonsága.
- [2] MSZ EN 50126-1:2001. Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemkézség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása. 1. rész: Alapvető követelmények és az általános folyamat
- [3] MODSafe projekt, WP2 – D2.2 Consistency Analysis and Final Hazard Analysis
- [4] J. Beugin, D. Renaux, L. Cauffriez A SIL quantification approach based on an operating situation model for safety evaluation in complex guided transportation systems, Reliability Engineering and System Safety 92 (2007) 1686–1700
- [5] Feltétfüzet közúti vasutak (villamosok) forgalomirányításához szükséges biztonságtechnikai elemek és berendezések számára, azonosító: DKV-VILL-1.1 Debrecen, 2012. február 8.
- [6] Feltétfüzet közúti vasutak (villamosok) forgalomirányításához szükséges biztonságtechnikai elemek és berendezések számára, azonosító: BKV-VILL-1.04 Budapest, 2011. február 2.