



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Vasúti rendszerek környezeti modellen alapuló kockázatelemzése

Készítette

Szloboda István

Konzulensek

Vörös András

Külső konzulens

Polgár Balázs (SmartMBSE Kft.)

Kucsera Ádám (Thales RSS Kft.)

2014

TARTALOMJEGYZÉK

Összefoglaló.....	4
Abstract.....	5
1. Bevezetés	6
2. Háttérismeretek.....	7
2.1. Vasút jelenlegi kockázatelemzései	7
2.2. Környezet fontossága.....	7
2.3. Modellezési eszközök	8
2.3.1. SysML.....	9
2.3.2. Petri-háló.....	9
2.3.3. Használt Petri-háló modellezési programok	10
2.4. Korábbi kutatások.....	11
2.4.1. Irodalmi áttekintés	11
2.4.2. Megelőző munkám	11
3. Modell alapú kockázatelemzés módszertana	12
3.1. Környezeti paraméterek és értékeik meghatározása	13
3.1.1. A környezeti paraméterek és hatásaik	14
3.1.2. Vasúti paraméterek	15
3.1.3. Közúti paraméterek.....	19
3.1.4. Környezet fizikai paraméterei.....	23
3.1.5. Emberi tényezők	25
3.1.6. Komplettn környezeti modell	26
3.1.7. Táblázatos megadás	27
3.2. Magas szintű modell megalkotása	27
3.2.1. Járműforgalmi paraméterek modellezése	30
3.2.2. Környezet fizikai paraméterei.....	39
3.2.3. Emberi tényezők	42
3.2.4. Balesetek felbontása	43
3.3. Analízis modell összeállítása	44
3.3.1. Szintézis	44
3.3.2. Automatikus generálás.....	51

3.4.	Analízis elvégzése.....	51
4.	Esettanulmány.....	55
4.1.	Környezeti modell – adatokkal	55
4.1.1.	Vasúti paraméterek	55
4.1.2.	Közúti paraméterek.....	58
4.1.3.	Környezet fizikai paraméterei.....	62
4.1.4.	Emberi tényezők	63
4.1.5.	A környezeti példánymodell.....	64
4.2.	A vasúti útátjáró levezetett modellje adatokkal feltöltve – szintézis.....	64
4.2.1.	Jármű jellegek felvétele:	64
4.2.2.	Napszak bevonása a modellbe:	65
4.2.3.	Forgalom sebessége	66
4.2.4.	Időjárás, útviszonyok	68
4.2.5.	Emberi tulajdonságok	68
4.2.6.	Utazó személyek száma	69
4.2.7.	Baleset súlyossága egyénre lebontva	70
4.2.8.	További paraméterek	71
4.3.	Analízis	71
5.	Összefoglalás	73
5.1.	Értékelés.....	73
5.1.1.	Eredmény	73
5.1.2.	Alkalmazhatóság.....	74
5.2.	Továbblépési lehetőségek	74
	Köszönetnyilvánítás.....	75
	Ábrák jegyzéke	76
	Táblázatok jegyzéke	79
	Irodalomjegyzék	80
	Függelék.....	82

Összefoglaló

A vasút „veszélyes üzem”, ezért különösen nagy hangsúlyt kell helyezni a biztonságra. A cél az, hogy a baleseti valószínűséget minél inkább csökkenteni lehessen, ezért a vasúti rendszereknél már a követelmények specifikálásakor előírtan el kell végezni egy kockázatelemzést is. Ez tipikusan a telepítendő rendszer különböző meghibásodási módjaiból adódó kockázatok elemzésére vonatkozik; és ezért a célja az, hogy a meghibásodások valószínűségét egy elfogadható alacsony küszöbérték alatt tartsa. A baleseti valószínűséget azonban erősen befolyásolja az üzemi környezet is (pl. forgalomsűrűség), amivel viszont tipikusan nem számolnak a kockázatelemzés során, így mindenhol a legbiztonságosabb rendszereket telepítik. Márpedig könnyen belátható, hogy például egy gyér vasúti és közúti forgalommal rendelkező átjáróban az amúgy is alacsony baleseti kockázat nehezen csökkenthető a telepítendő rendszer biztonságosságával, míg egy nagy forgalmú átjáróban kritikus, hogy a rendszer mennyire biztonságos.

Vannak az üzemi környezetből adódó kockázatok figyelembevételére kezdeményezések, jelen dolgozat ezt az utat követve javasol olyan környezeti modellen alapuló kockázatelemzési módszert, mellyel kiegészítve a szokásos rendszerhibákból kiinduló kockázatelemzést, költséghatékonyabban lehet a telepítendő rendszerek biztonsági szintjét specifikálni.

A dolgozatban a módszer a vonali sorompó példáján keresztül kerül bemutatásra. Ennek során összegyűjtésre kerültek a vasúti útátjárók üzemi kockázatát befolyásoló környezeti tényezők, és definiálásra került a környezet ezen tényezőket tartalmazó magas szintű mérnöki modellje. A javasolt módszer során ez a környezeti modell automatikusan leképezésre kerül formális, Petri-hálós modellé, melyen elvégezhető a kockázatelemzési számítás. A számítás eredményeként kapott üzemi kockázati érték alapján újonnan kiépítendő átjáró esetén meghatározható a telepítendő berendezés szükséges kiépítettségi szintje.

A módszer más szakterületek kockázatelemzésében is használható, továbbá lehetőséget biztosít a költségoptimalizáció automatizációjára is.

Abstract

Railway is a dangerous operation, so the safety is very important. The purpose is, to reduce the probability of an accident as much as possible. Therefore in railway systems it is prescribed, to make a risk analysis by the step of requirements-specification. It is typically related to the risk analysis from different failure modes of the system to be installed. And therefore, the aim is to keep the probability of failure below a lower acceptable threshold. However, the accident probability is strongly influenced by the operating environment too (eg. traffic density), which in turn does not take into account during the risk analysis, so the safest systems are installed everywhere. It is easy to see that, for in a level crossing with scant road and rail traffic, the already low accidental risk is difficult to reduce with the safety of the system to be installed, while in a crossing with high traffic it is critical how safe the system is.

There are initiatives which are taking into account risks inherent in the working environment. In following this way, this thesis proposes risk analysis method based on an environmental model, which supplemented the usual risk analysis based on system errors. So the security level of the systems to be installed can be specified more cost-efficiently.

In the thesis the method is presented through the example of level crossing. In doing so, environmental factors were collected that influence the operating risk of the railway level crossings, and a high level engineering model has been defined of the environment, that contains these factors. During using the proposed method this environmental model is automatically mapped to a formal Petri nets model, on which the risk analysis calculation can be performed. Based on the operational risk value, which is the result of the calculation, the necessary deployed architecture level of the equipment can be determinable.

The method can also be used in risk analysis of other specialization, as well as provide an opportunity for automation of cost optimization.

1. Bevezetés

Vasúti területen az általános veszélyforrások elleni védekezés céljából alakultak ki az úgynevezett *biztosítóberendezések*. Ezek hivatottak a vasúti forgalmat automatizáltan, központosítottan megvédeni (a közlekedő vasúti járműveket mind egymástól, mind pedig más közlekedési eszközöktől). Napjainkra egyre több helyen nagymegbízhatóságú számítógépes rendszerek látják el ezen feladatokat.

A *nagymegbízhatóság* alatt a CENELEC szabványokban [1][2][3] is rögzített RAMS paraméterek optimálisan összehangolt négyesét értik. A RAMS betűszó a megbízhatóságot, a rendelkezésreállást, a karbantarthatóságot és a biztonságot takarja (angolul: Reliability, Availability, Maintainability, Safety). Az összehangolás főként a rendelkezésreállítás és a biztonság paramétereinek egymáshoz való optimalizálását jelenti az adott berendezésre; mivel ezek akár egymás ellen is hathatnak.

A nagymegbízhatósággal rokon fogalom a *biztonságkritikusság*. Ez az előbbihez képest tágabb vizsgálódási nézőpontot feltételez, mivel ha kritikusak vagyunk a rendszer biztonságosságára, akkor nem csak magát a rendszert vizsgáljuk, hanem a környezetet is, amelybe a rendszer el lesz helyezve. Mert a rendszer biztonságossága önmagában még nem jelenti a szituáció biztonságosságát. (Hiszen a vasúti útátjáró esetében például egy forgalmas úton, a reggeli csúcsidőben munkába siető türelmetlen autósok számára az egyetlen kihelyezett fénysorompó pár perc várakozás után nem jelent akkora akadályt az átjárón való áthajtásra, mint egy félsorompó – holott a berendezések biztonságossága önmagában megfelelő lenne.) Vagyis a biztonságkritikusság a rendszerre és környezetre együtt értendő.

Éppen ezért nagyon fontos, hogy már az 50126-os CENELEC szabványban [1] előírt, a követelményspecifikáció fázisában elvégzendő kezdeti kockázatelemzésnél is hangsúlyt kapjon a környezeti paraméterek kockázatra vonatkoztatott hatása.

Jelen dolgozatommal a szakdolgozatomban [4] leírt vasúti rendszerek tervezésének előkészítésére felhasználható módszertant szeretném egy formális, matematikai modellen alapuló, a környezetet figyelembe vevő kockázatelemzési módszerrel kibővíteni. Mely elemzés alkalmas lehet nem csak tervezendő rendszerek, hanem már meglévő rendszerek analizálására egyaránt. Ezen kockázatelemzés formális (Petri-háló[5]) modelleket készít egy (SysML nyelven [6][7][8] leírt) környezeti modell alapján. A környezeti modell a szakdolgozatom rendszerspecifikációs módszertanában leírt szöveges, táblázatos formájú környezeti modelljének SysML nyelven leírt továbbfejlesztése, tehát a teljes rendszer tervezés előkészítésének módszerébe beilleszthető.

2. Háttérismeretek

2.1. Vasút jelenlegi kockázatelemzései

A kockázatelemzés a lehetséges kockázatok azonosítását, csoportosítását és értékelését jelenti. Ezt minden biztonságkritikus rendszer tervezésekor el kell végezni. Bizonyos területek szabványai megkötik egy előzetes kockázatelemzés elvégzését is már a követelményspecifikációs fázisban. A vasúti terület is ezek közé tartozik.

A kockázatelemzés megvalósítására számtalan módszer áll rendelkezésünkre, és ezek közül többet használnak is éles környezetben. A leggyakoribb módszerek az alábbiak¹:

- Hibamód és hatáselemzés (Failure Mode and Effect Analysis (FMEA))
- Hibamód és hatás és hibakritikusság elemzés (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA))
- Hibafa-elemzés (Fault Tree Analysis (FTA))
- Működőképesség- és veszélyelemzés (Hazard and Operability Studies (HAZOP))
- Eseményfa analízis (Event Tree Analysis (ETA))
- Veszélyelemzés (Hazard analysis (HAZAN))

A vasúttal kapcsolatos kockázatelemzés és –értékelés európai szintű harmonizálását elősegítendő, 2009-ben az Európai Unió Bizottsága megalkotott egy rendeletet [9] melyben leírja a követendő közös biztonsági módszert [10]. (Később ezt módosították [11].)

Jelenleg a *kockázatelemzés* főként a *berendezés funkcionális vizsgálatából* áll. Az egyes funkciók elvesztésének következményeit kutatják; milyen veszélyes meghibásodásokat idézhetnek elő, és ezeknek mekkora valószínűséggel lesz a végkövetkezménye baleset. Általában egy hibamód és –hatás analízist végeznek el (FMEA) és utána valószínűségi modellekben dolgozzák fel a kapott adatokat. Mindez nagyon fontos része egy kockázatelemzésnek, de arra szeretnék rávilágítani, hogy e mellett más szemszögből is érdekes lehet megvizsgálni a problémakört.

A hagyományos kockázatelemzéseken túl egyre több új módszerrel próbálkoznak a kutatásokban. Az egyik napjainkban népszerű megközelítés a Petri-hálós formális leírás, a dolgozatban bemutatandó módszer is ezt alkalmazza.

2.2. Környezet fontossága

A *kockázatelemzésnél* nem csak magát a berendezést lenne *célszerű vizsgálni*, hanem az *egész szituációt*; mert a balesetek egy része működő, teljes funkcionalitású berendezés mellett következik be. Az útátjáró az egyik legalkalmasabb példa ennek szemléltetésére, hiszen ott a balesetek többsége emberi figyelmetlenségből, hanyagságból, a környezet adottságaiból ered, nem pedig a berendezés hibájából. Tehát nagyon fontos tényezője a kockázatelemzésnek a környezet, beleértve az embert is.

¹ A módszerek széles tárházának összehasonlítása megtalálható ezen tanulmányban.
<http://www.zmne.hu/tanszekek/vegvi/personal/Modszerek.pdf>

A dolog ellenkezője is sokszor előfordul, miszerint a berendezés meghibásodik, ám mégsem következik be baleset – ebben az esetben is nagyban befolyásolja a kockázatot a környezet. Nem mindegy például, hogy sík terepen messziről jól belátható átjáróhoz közeledik a személygépjármű; vagy nehezen belátható – növényzet illetve domborzat által takart – átjáróhoz.

Ha nem vesszük figyelembe a környezetet, akkor a kockázat csökkentése érdekében tett lépések, melyek egyre nagyobb megbízhatóságú berendezések telepítését jelentenék, nem feltétlenül fognak eredményre vezetni. Ezáltal csak a berendezés hibájából adódó kockázatot tudtuk csökkenteni, viszont ha vele egyáltalán nem összemérhető, nagyságrendekkel magasabb kockázat származik az egyéb körülményekből, akkor a baleset bekövetkezésének kockázata mindezek után is magas marad. Tehát a balesetnek a környezetből eredeztethető kockázatát nem érdemes ekkora mértékben a berendezésre hárítani. A megfelelő mértékű súlyozás eléréséhez a felelősségi köröket már az elején tisztázni kell.

A környezetből adódó kockázat csökkentését a berendezés kiépítettségének változtatásával lehet megvalósítani (újabb és újabb alrendszer bevonásával). Ez a vasúti átjáró példáján keresztül szemléltetve azt jelenti, hogy egy nagyon forgalmas átjárónál a kockázat magas egyetlen igen megbízható fénysorompó kihelyezése esetén, míg egy alacsonyabb megbízhatósági mutatókkal rendelkező fénysorompó és félsorompó páros esetén a kockázat alacsonyabb lehet. (Itt konklúzióként levonható, hogy a kiépítettség befolyásolható a tiloson áthaladás aránya.)

A következőekben ismertetendő kockázatelemzési módszerben a környezetből eredő kockázatok vizsgálatát mutatom be részletesen. Függetlenül a kihelyezendő berendezéstől, először az adott szituációban rejlő kockázatokat kell megvizsgálni. Csak ez után lehet hozzávenni azt, hogy különböző kiépítettségű berendezések kihelyezésével ez mekkora mértékben csökkenthető. Vagyis egy új átjáró példáján: első körben azt számoljuk ki, mi a baleset bekövetkezésének kockázata mindennemű sorompóberendezés nélkül – csak ennek ismeretében vizsgáljuk tovább, hogy a berendezés egyes alrendszereinek kihelyezésével ez hogy módosul.

Hazánkban kb. 5-6 féle kiépítettségű átjáró található, holott a környezeti adottságok következtében ennél jóval szélesebb spektrumra lenne szükség. Jelenleg a legrosszabb esetre (worst case-re) való méretezést használnak, és ezt általánosan (nem egyedileg az adott átjáróra) számolják. Fontos lenne az átjáróra vonatkozó konkrét szituációból adódó kockázati paraméterek figyelembe vétele, mert csak ez által lehetne kiválasztani a legalkalmasabb kiépítettségű sorompóberendezést az adott helyszínre.

2.3. Modellezési eszközök

A *modellalapú szemlélet* egy átfogó problémakezelési módot nyújt, ahol a modellbe bevitt információk természetükből adódóan eleve strukturáltak lesznek.

A modell leírásának mikéntjét a *modellezési nyelv* határozza meg. Számos ilyen nyelv létezik. Kategorizálásuk két fő szempontja a matematikai formalizmusra való épülés illetve az ábrázolásmód. Előbbi szerint megkülönböztethetünk formális (szintaktikájuk,

szemantikájuk mögött matematikai szabályrendszerek működnek) és fél-formális nyelveket (nincsen mögöttük szigorú formalizmus, kevesebb megkötést tartalmaznak). Utóbbi felosztás pedig a grafikus és nem grafikus nyelvek osztályait takarja.

A grafikus ábrázolás nagy előnye az, hogy az ember számára könnyebben érthetően lehet velük leírni a releváns információkat. Egy diagramon sokkal több minden ábrázolható a megértés határán belül, mint folyószövegben. Többek között az elemek hierarchiája, egymásra épülése is könnyedén szemléltethető.

Legelterjedtebb közülük az OMG által szabványosított UML nyelv [9]. Ez a grafikus, fél-formális modellezési nyelvek csoportjába tartozik. Többféle diagramtípust is definiál, melyek segítségével szemléletesen lehet ábrázolni a tervezendő rendszer különböző felépítési és működési tulajdonságait.

2.3.1. SysML

Az UML nyelvet sztereotípiái segítségével kibővítették tipikusan rendszerfejlesztési szempontból fontos ábrázolhatósággal; megalkotva így módon a SysML nyelvet [10] [11]. Míg az UML alapvetően szoftvertervezésre lett kitalálva, addig a SysML célja a rendszertervezés segítése; így tartalmazhat mind szoftveres, mind hardveres komponenseket. Ez okból az UML szoftverspecifikus osztálydiagram típusát átalakították; blokk és belső-blokk diagram típusokat hoztak létre a rendszerspecifikus elemek leírására. Egyéb újításai a követelmények modellben való kezelhetőségét lehetővé tevő követelménydiagramok ill. követelménytáblázatok. Ezen kívül a hierarchikus elrendezést lehetővé tevő csomagdiagramok számítanak még előrelépésnek. Az egyes elemek univerzalizálását pedig a parametrikus diagramok teszik lehetővé.

Az ismertetendő környezeti modell leírásában a SysML nyelvet használjuk, mert rendszer szintű szemléletet alkalmaz, így jól illik a vasúthoz. (Segítségével pedig kapcsolódni tudunk a szakdolgozatomban[4] leírt módszertanhoz, mely szintén ezt a nyelvet alkalmazza).

2.3.2. Petri-háló

A Petri-háló egy grafikus ábrázolásmódú formális nyelv. Az elemei két osztályba sorolhatók:

- *helyek*: állapotokat szimbolizálnak, tartalmazhatnak ún. *tokeneket*, melyek a helyek között vándorolhatnak (számuk nem feltétlenül állandó); jelölésük: kör
- *tranzíciók* (átmenetek): eseményeket szimbolizálnak; téglalappal jelölik

A tranzíciók helyeket kötnek össze (máshoz nem kapcsolódhatnak) *be-* és *kimeneti* (irányított) *élekkel*. A helyek szintén nem kapcsolhatók egymáshoz, csakis átmeneteken keresztül.

Matematikailag analóg egy irányított, súlyozott páros gráffal, a helyek és átmenetek felelnek meg a két pontosztálynak, az irányított élék pedig az egyik pontosztály eleméből csak a másik pontosztály egy elemébe mehetnek.

A modell dinamikája a következőből áll: az egyes átmenetek *engedélyezettek*, ha minden bemeneti helyükön található (legalább a bemeneti élsúlyaiknak² megfelelő számú) token. A rendszer minden időpillanatban kiértékeli, mik az engedélyezett tranzíciók, aztán kiválaszt egyet, és azt a *tranzíciót eltűzeli*. Ez azt jelenti, hogy annak az átmenetnek minden bemeneti helyéről elvesz az élsúlyoknak megfelelő számú token, és minden kimeneti helyére betesz az élsúlyoknak megfelelő számú token.

A Petri-hálóknak több típusa van, melyeket az alap eszközkészlet kiterjesztésével kapunk meg. Használhatunk tiltó éleket, melyek kindulóhelyükön lévő token esetén letiltják az átmenet engedélyezettségét. Korlátokat adhatunk meg egyes helyeken elhelyezhető tokenek számára vonatkozóan. A kiterjesztések alapján a számunkra fontos, általunk használt típus:

- Időzített (sztochasztikus) Petri-háló: az idő dimenziót hozza be a modellbe. Időzítésekkel megadhatjuk az egyes tranzíciók késleltetését.

2.3.3. Használt Petri-háló modellezési programok

Petri-háló építésre, analízisra számtalan eszközt megalkottak már. Ezek közül az ingyenes, illetve oktatási célokra megszerezhető eszközökre próbáltunk fókuszálni. Fontos volt, hogy időzített, sztochasztikus hálókat is tudjon kezelni, mivel a modellünkben szeretnénk szerepeltetni az idő múlását, és ennek megfelelően késleltetnénk bizonyos átmeneteket.

2.3.3.1. TimeNET

A TimeNET³ az Ilmenau-i Tudomány Egyetem által fejlesztett eszköz. Kisebb modellek kezelésére használható. Ismeri az élsúlyok fogalmát (ezért az érintettek számának ábrázolásánál az ezzel az eszközzel készült modellt jelenítettük meg). Kezeli az időzített sztochasztikus hálókat, viszont nem szerepel az eszközkészletében az azonnali sztochasztikus átmenet, amely számunkra nélkülözhetetlen.

2.3.3.2. Oris

Az Oris⁴ a Firenzei Egyetemen létrehozott program. Ismeri az időzített sztochasztikus Petri-hálókat. Az azonnali sztochasztikus átmenetet is kezeli, ellenben élsúlyt nem sikerült benne megadni.

Az említett eszközök egyike sem futott nagy modell esetén kielégítően, így távlati cél lehet később professzionálisabb (esetleg fizetős) eszközök kipróbálása (jelen dolgozatban az elméleti háttér kialakítása volt az elsődleges feladat).

² Valójában többszörös él. Az ábrázolás átláthatósága jegyében nem ennek a számnak megfelelő darab élet húzunk ki egy hely és egy tranzíció között, hanem csak egyet, rajta szerepeltetve a többszörözés mértékét (vagyis a számot).

³ <https://www.tu-ilmenau.de/sse/timenet/>

⁴ <http://www.oris-tool.org/>

2.4. Korábbi kutatások

2.4.1. Irodalmi áttekintés

A szakirodalomban több publikáció is született már a Petri-hálók alkalmazásáról vasúti kockázatelemzésben. Az alábbi négy értekezést megvizsgálva azonban továbbra is úgy éreztük, hogy a környezet – bár helyenként bizonyos paraméterei már szerepelnek – továbbra se kap akkora hangsúlyt, mint amekkorát indokolt lenne.

- Extraction of Critical Scenarios in a Railway Level Crossing Control System[9]
- Petri Nets Approach in Assessing the Safety at Level Crossing—The Effect of Traffic and Train Characteristics on Safety Measurement[13]
- Level Crossing Modelling Using Petri Nets Approach and II-Tool[14]
- Methodische Modellierung und Analyse von Sicherungssystemen des Eisenbahnverkehrs[15]

A megközelítésük nem azonos a miénkkel, ugyanakkor a környezeti modell építésénél (amely alapját a szakdolgozatomban leírt modell adja) ötleteket meríthetünk belőlük. A [13]-as tanulmányból fontos befolyásoló paraméternek találtuk az utak telítettségének vizsgálatát (mennyire van kapacitásának maximumán csúcsidőben az átjáró áteresztőképessége), továbbá lényeges lehet még a legközelebbi közúti átjáró távolsága, ha közelebb van, mint egy nagyobb jármű hossza; mivel ilyenkor, addig, amíg nem tud átkelni azon, belelóg a vasúti átjáróba.

2.4.2. Megelőző munkám

A szakdolgozatomban[4] bemutattam egy rendszer tervezést előkészítő módszertant, kiegészítve egy kockázatelemzéssel. A módszertan a SYSMOD[7] metodológián alapul, mely a SysML[6][8] nyelvet használja. A kockázatelemzés pedig a környezeti paraméterek értékeinek sávos elhatárolásával határoz meg kockázati tartományokat.

Célja az volt, hogy az adott szituációra meghatározható legyen, milyen kiépítettségű (konfigurációjú, milyen részegységeket tartalmazó) átjárót biztosító berendezést érdemes kihelyezni. A módszer lényege az, hogy meghatároztuk a környezetből eredő kockázat mértékét a berendezés nélküli szituációra (*üzemi alapkockázat*), másrészt az egyes kiépítettségi konfigurációkat kategóriákba (*kiépítettségi/biztosítottsági szintekbe*) soroltuk, majd a szintekre meghatároztuk, mekkora mértékben csökkentik a kockázatot. Végül az adott szituációra eredményül kapott üzemi alapkockázat értékéből, és a kiépítettségi szintek kockázat-eltolásának mértékéből meg tudtuk határozni, hogy milyen kiépítettségű átjárót indokolt az adott szituációra alkalmazni. (Ehhez előbb még meg kellett határozni a tolerálható kockázat értékét.)

A szakdolgozatban leírt, sávos eltoláson alapuló ad-hoc kockázatelemzési módszert próbáltam meg jelen műben formalizálni.

3. Modell alapú kockázatelemzés módszertana

Egy újonnan létesítendő sorompóberendezés elemzésénél az *üzemi kockázatot* szeretnénk meghatározni, vagyis nem a berendezés meghibásodásainak lehetőségeire vagyunk kíváncsiak, hanem a működéstől független, kockázatot befolyásoló tényezőket vizsgáljuk. Jellemzően a berendezés nélküli átjáró adataiból számolt üzemi alapkockázattal dolgozunk, ezt csökkentjük majd a megfelelő kiépítettségi szintű berendezéssel.

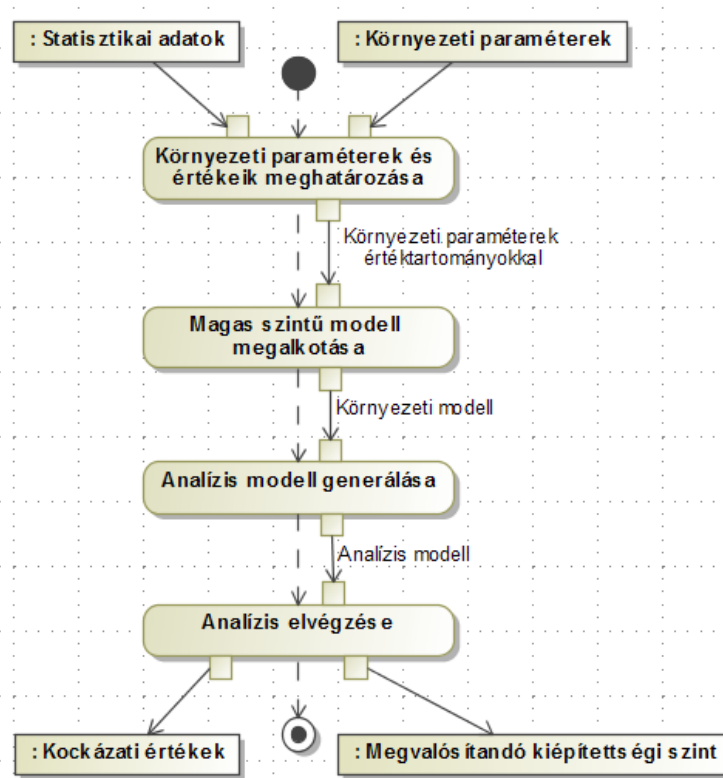
Am módszerünk használható meglévő berendezések felülvizsgálatára is, ilyenkor az *adott szituációra* (telepített berendezésre) *jellemző kockázati* értéket tudjuk számolni. (Értelemszerűen nem ajánlatos lekapcsolt berendezés mellett adatot gyűjteni, mert ezzel akár életeket is veszélyeztethetnénk.)

A két megközelítés nem mond egymásnak ellent, átjárható. A berendezés megléte a baleset bekövetkezésére lesz közvetlen ráhatással, tehát ez is belevihető a modellbe. És ha már megfelelő mennyiségű statisztikai adat áll rendelkezésünkre a különféle kiépítettségű átjárókról, akkor az egyes berendezések „kockázat-tolása” megállapítható lesz; így minden esetben számolhatóvá válik az üzemi alapkockázat is.

Az egyes meghatározott paramétereknél megvizsgáljuk, milyen módon szólnak bele a kockázatba (az elkerülendő csúcsemény – vagyis maga a baleset – bekövetkezésébe). Létrehozunk belőlük egy *környezeti modellt*. Később az ebben szereplő paramétereket egy *kockázatanalízis modellben* fogjuk szerepeltetni. Egyenként leírjuk, hogy ebben a modellben miként célszerű őket reprezentálni, miket hogy befolyásolnak. Ez után az elemi részeket összetesszük egy komplex modellé. A későbbiekben ezt a komplexitása miatt már célszerű lehet generálni.

Az elkészült analízis modellen pedig már elemzéseket lehet végezni. Az egyes baleseti fajták előfordulását, vagy a különböző sérültek számát is megkaphatjuk. Ez utóbbi már összehasonlíthatóvá teszi az egyes átjárókat. A szakdolgozatomban meghatározott kockázati mérőszámmal [emberélet/átjáró/időegység] jellemezhetővé teszi az átjárókat. Bár úgy tűnik a metrika csak a halottakat veszi figyelembe, lehetőség van a különböző sérülések átkonvertálására is. (Az elfogadott átváltás: 10 súlyos, vagy 100 könnyebb sérült felel meg egy halálos áldozatnak[15].)

A folyamat lépéseit a 3.1. ábra szemlélteti.



3.1. ábra – A módszer lépései

3.1. Környezeti paraméterek és értékeik meghatározása

A *környezeti modell*ben definiáljuk (gyűjtjük össze) azokat a berendezésen kívüli tényezőket, amelyek befolyásolhatják a baleset bekövetkezését.

A kockázatot befolyásoló tényezők vizsgálatakor érdemes csoportosítást végezni az eredetet tekintve. A vasúti átjáró témakörében két közlekedési ágazat találkozáspontját látjuk, így rögtön adódik, hogy felvegyünk vasúti és közúti paramétereket. Ezeken kívül a fizikai környezet még több, előzőektől független tényezővel járul hozzá a csúcsesemény (a baleset) bekövetkezési valószínűségéhez. Végül a közlekedő járműveken és környezeten felül érdemes magát az emberi tényezőt is megjeleníteni a modellben.

Fontos ismernünk az átjárón áthaladó járművekhez, és forgalomhoz köthető adatokat. A járművek megkülönböztethetők *jellegük* (típusuk) alapján (személy/tehergépjármű, személy/tehervonat...) Ezen adat eleve behatárol olyan egyéb lényeges tulajdonságokat, mint a járművek *tömege*, *hossza* és a *szállított személyek száma*. Érdekes még a járművek *sebessége*, ez közút esetében járművenként eltérő lehet, míg a vasút esetén inkább a vasúti pálya fizikai adottsága határozza meg. A forgalomhoz pedig a forgalomsűrűség paramétere köthető. Illetve a közútnál felmerül egy kihasználtsági mutató is, hogy mennyire van *telítve* az adott útszakasz.

A közúti és vasúti forgalomhoz köthető paramétereken kívül számos tényező van a baleset bekövetkezésére nagy hatással. Ha a fizikai környezetet tekintjük, vizsgálnunk kell

mindenekelőtt az átjáró *beláthatóságát* (az ú.n. rálátási háromszöget⁵). Az időbeli változás két aspektusát is nyomon kell követnünk, egyrészt mérvadó az időpont, hogy milyen *napszakban* vagyunk éppen, másrészt az *időjárás* megváltoztathatja a látási és tapadási viszonyokat. Ide tartozik még két további befolyásoló tényező: az átjáró esti *kivilágítottága*, illetve a *legközelebbi útkereszteződés távolsága* is.

Végezetül az emberrel kell foglalkoznunk, mint aki a viselkedésével jelentősen befolyásolhatja a baleset létrejöttét. Megkülönböztethetünk *figyelmetlenséget*, *türelmetlenséget* (csúcsidőszakra, zsúfolt lassú haladáskori fáradtságra visszavezethetőek) és *felelőtlen-séget*.

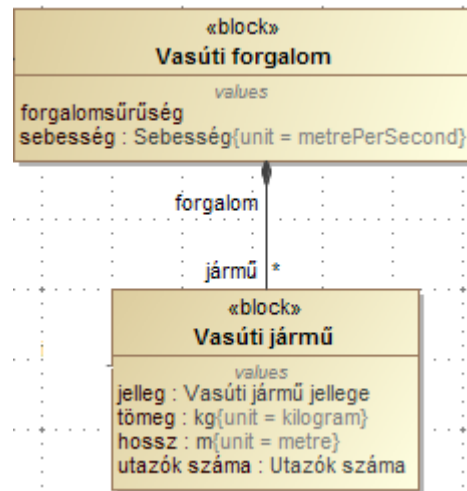
3.1.1. A környezeti paraméterek és hatásaik

- Vasúti paraméterek
 - Jármű jellege
 - Jármű tömege (*hatás a baleset súlyosságára*)
 - Utazó személyek száma (*hatás a baleset súlyosságára -> érintettek*)
 - Jármű hossza (*a potenciális veszélyhelyzetben töltött időt befolyásolja*)
 - Forgalom sebessége (*hatás a baleset súlyosságára, a potenciális veszélyhelyzetben töltött időt befolyásolja*)
 - Forgalom sűrűsége (*hatás a baleset gyakoriságára*)
- Közúti paraméterek
 - Jármű jellege
 - Jármű tömege (*hatás a baleset súlyosságára*)
 - Utazó személyek száma (*hatás a baleset súlyosságára -> érintettek*)
 - Jármű hossza (*a potenciális veszélyhelyzetben töltött időt befolyásolja*)
 - Forgalom sebessége (*hatás a baleset súlyosságára, a potenciális veszélyhelyzetben töltött időt befolyásolja*)
 - Forgalom sűrűsége (*hatás a baleset gyakoriságára*)
 - Út telítettség (kapacitásra nézve) (*hatás a baleset gyakoriságára*)
- Környezet fizikai paraméterei
 - Napszak (*más paramétereket határoz meg – pl. forgalom sűrűséget...*)
 - Időjárás, útviszonyok (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)
 - Beláthatóság (rálátási háromszög) (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)
 - Legközelebbi útkereszteződés távolsága (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)
- Emberi tényezők
 - Figyelmetlenség (fáradtság) (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)
 - Türelmetlenség (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)
 - Felelőtlenség (*befolyás a baleset elkerülhetőségére*)

⁵ A közút és a vasút egy-egy pontja, és az útátjáró által meghatározott háromszög. Ld. MÁV F.1.sz. jelzési utasítás: 1.2.8. csökkentett rálátási háromszög:.

3.1.2. Vasúti paraméterek

Elkülöníthetjük a teljes vasúti forgalomra és az egyes járművekre vonatkozó paramétereket. A modellbeli ábrázolást a 3.2. ábra mutatja.



3.2. ábra – Vasúti paraméterek

Mint látható, az egyes csoportosító fogalmaknak blokkokat hoztunk létre (így lesz ez a későbbiekben is); majd a blokknak különböző attribútumokat (ezek lesznek az egyes környezeti paraméterek). Megadható az attribútumok típusa is, ez lehet előre definiált típus, pl.: mértékegység, vagy pedig általunk készített is. (Ez utóbbiakat az egyes paraméterek részletezésénél képként megmutatjuk.)

A blokkok közti kapcsolat is reprezentálható; jelen esetben a vasúti forgalom tartalmazza a vasúti járműveket.

3.1.2.1. Vasúti jármű jellege (típusa)

Az, hogy milyen közúti illetve vasúti jármű közeledik az átjáróhoz, több tulajdonságot is meghatároz. A baleset szempontjából nem mellékes például, hogy hány személy utazik az adott járműben. Ezen felül a jármű fajtájából adódik a tömege, mely szintén befolyásolja mind saját magában mind pedig a másik járműben okozott sérülés mértékét (egy mellékvonali motorkocsi könnyebb, és sérülékenyebb, mint egy nehéz tehervonat). Végül a jármű hosszát is behatárolja.

Az alábbi típusokat különböztetjük meg:

- pályafenntartási jármű (vágánygépkocsi)
- személyvonat
- tehervonat

E három lehetőséget egy saját Enumeration típusba sorolhatjuk fel (ld. 3.3. ábra).



3.3. ábra – Saját típus: vasúti jármű jellege

Szükséges adatok forrása: A szolgálati menetrendkönyvből illetve az elmúlt időszakra kiadott menetvonalakból⁶ látható, milyen jellegű vonatok használják az adott szakaszt. (A magyar vasúton a FOR00 naplózó alrendszer⁷ is tartalmazza a szükséges információkat.)

3.1.2.2. Vasúti jármű tömege

Az előbb felsorolt, egyik jelleggel összefüggő paraméter, a tömeg. Ennek kétirányú kihatása van, egyrészt a jármű saját sérülékenységevel van szoros összefüggésben, másrészt a másik járműben baleset esetén okozott kárt is befolyásolja.

A jármű jellegek által felvett tipikus tömegértékeket a 3.1. táblázat tartalmazza.

3.1. táblázat – Vasúti járművek tömegei

Jármű jellege	Tömeg [kg]
pályafenntartási jármű	100-33 000 ⁸
személyvonat	15 000-600 000
tehervonat	15 000-2 700 000

Szükséges adatok forrása: A tehervonatok fuvarleveléből⁹, illetve a személyvonatok kocsiosszeállításából megkapható a vonatok közelítő tömege. (A magyar vasúton a FOR00 naplózó alrendszer is tartalmazza a szükséges információkat.)

3.1.2.3. Vasúton utazó személyek száma

Mint említettük, ez szintén összefügg a jármű jellegével. Az utazó személyek egy része sérül egy esetleges baleset következtében, és mivel a baleseti mérőszámunk az emberekhez kötődik, így ez egy igen fontos paraméter.

A szokásos, vasúti járművekhez köthető utazók számát a 3.2. táblázat jeleníti meg.

⁶ A vasúti pályahálózat-kapacitásnak az a része, amely egy adott időszakban egy vonat két pont között történő közlekedtetéséhez szükséges. Ld: 2005. évi CLXXXIII. törvény a vasúti közlekedésről http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0500183.TV

⁷ A MÁV-nál használt naplózó rendszer a vonat forgalmi adatok rögzítésére (központosított, kibővített forgalmi napló). FOR: Forgalmi Vonatközlekedési Információs rendszer

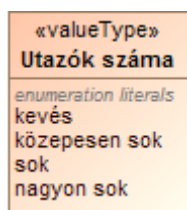
⁸ MÁV D2 utasítás függelékéből (M. és pont) http://www.mav.hu/res/D2_Fuggelek.pdf

⁹ A feladó által kiállított árukísérő dokumentum.

3.2. táblázat – Vasúti járművön utazók száma

Jármű jellege	Utazó személyek száma [fő]
pályafenntartási jármű	1-20
személyvonat	2-800
tehervonat	1-4

A modellben 4 kategóriát szerepeltetünk, melyet a jellemző értékekkel töltünk majd ki példánymodell szinten – ez univerzalitást biztosít, vagyis a 3.4.ábrán látható saját típus használható mind a vasúti, mind a közúti esetben úgy, hogy a mögöttes számok eltérőek lehetnek.



3.4. ábra – Saját típus: vasúton utazók száma

Szükséges adatok forrása: Utasszámlálással, vagy eladott jegyekből az összegzett érték közelítőleg számolható.

3.1.2.4. Vasúti jármű hossza

A jármű fontos paramétere még a hossza, mivel (a sebesség mellett) ez befolyásolja a veszélyzónában tartózkodás idejét. Ez is hozzáköthető a jármű jellegéhez (értéktartományait a 3.3. táblázat sorolja föl):

3.3. táblázat – Vasúti járművek hossza

Jármű jellege	Jármű hossza [m]
pályafenntartási jármű	2,5-14
személyvonat	13-450
tehervonat	9-750 ¹⁰

Ide tartozó fontos adat még a közúti sávok szélessége és száma, mivel a veszélyzónán áthaladás idejének számításához az is szükséges. Ez a magyar utakon általában 2,75-3,5m szokott lenni¹¹.

Szükséges adatok forrása: A tehervonatok fuvarleveleiből, illetve a személyvonatok kocsioszeállításából a tömeg mellett ez is összeszámolható. (A magyar vasúton a FOR00 naplózó alrendszer is tartalmazza a szükséges információkat.)

¹⁰ MÁV Műszaki táblázatok II. (Pályaadat táblázatok)

http://www.mav.hu/res/mt_2_vpe_070708_v1_00.pdf

¹¹ 11/2001. (III. 13.) KőViM rendelet az útburkolati jelek tervezési és létesítési előírásairól:

http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100011.KOV

http://www.epito.bme.hu/uvt/oktatas/feltoltesek/BMEEOUVASE1/uttervezes_bsc_segedlet.pdf

3.1.2.5. Vasúti forgalom sebessége

A járműveknek meghatározó paramétere a jellegen, tömegén és utasokon kívül az átjáróban való áthaladás sebessége. Lassú tempónál a vasúti járműnek is lehet esélye megállni az ütközés előtt.

A sebességnek kettős szerepe van, egyrészt a veszélyzóna elhagyásának idejét befolyásolja, másrészt a baleset súlyosságára is hatással van.

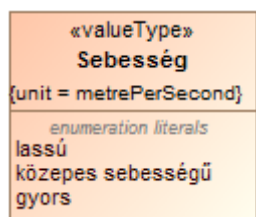
Három különböző értéket találtunk megkülönböztetésre érdemesnek (ld. 3.4. táblázat):

3.4. táblázat – Vasúti forgalom sebessége

Mennyiségi kategóriák	Vasúti sebesség [km/h]
lassú	5-40
közepes	41-80
gyors	81-120

A vasúton a sebességet általában a vasúti pálya határozza meg, a vonatok többsége az engedélyezett sebességgel halad, ettől eltérés olyan esetekben fordul elő, amikor a pályasebesség meghaladja a vonatra megengedett értéket, illetőleg valamilyen hiba/veszélyforrás miatt a vasúti jármű csökkentett sebességgel kénytelen haladni.

Szintén saját típusban ábrázolhatjuk a sebesség kategóriákat (ld. 3.5. ábra).



3.5. ábra – Saját típus: vasúti forgalom sebessége

Szükséges adatok forrása: A pályageometriából és –állapotból következik a maximális pályasebesség ezt az írásbeli rendelkezésből¹² tudhatjuk meg, illetve az egyes vonatokra engedélyezett értékeket is (hiba, veszély esetére pedig elő van írva megfelelő sebességkorlátozás). A vonatokon lévő adatrögzítő berendezésből pedig a pontos értékek is leolvashatók.

3.1.2.6. Vasúti forgalom sűrűsége

A vonatok érkezési gyakorisága olyan paraméter, amely már nem egy-egy járműre vonatkozik, hanem az összességükre. A forgalomsűrűséggel meghatározhatjuk, hogy várhatóan milyen időközönként érkezik egy-egy újabb jármű a veszélyzónába.

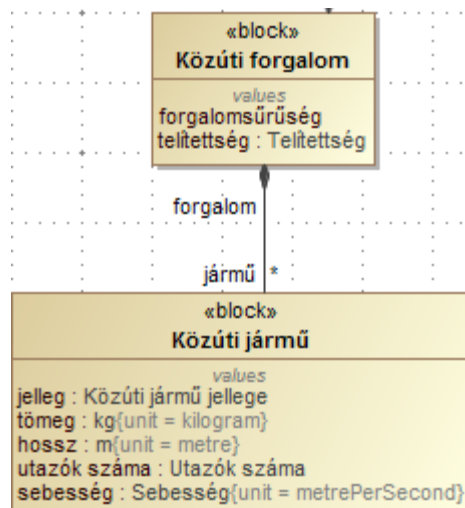
Szükséges adatok forrása: A szolgálati menetrendkönyvből illetve az elmúlt időszakra kiadott menetvonalakból látható, mennyi vonat és mikor használja az adott szakaszt;

¹² A vonatszemélyzet (mozdonyvezető, vezető jegyvizsgáló, jegyvizsgáló) részére a közlekedéssel kapcsolatos rendelkezéseket tartalmazó írott parancs.

ebből pedig a forgalomsűrűség számolható. (A magyar vasúton a FOR00 naplózó alrendszer is tartalmazza a szükséges információkat.)

3.1.3. Közúti paraméterek

A vasúthoz nagyon hasonlóan adhatjuk meg a közúti paramétereket. Ezt a 3.6. ábra szemlélteti.



3.6. ábra – Közúti paraméterek

Különbség az előzőekhez képest, hogy megjelenik a telítettség paraméter; illetve a közúton a sebesség már járművenként más és más; vagyis nem közelítőleg azonos, mint a vasút esetében.

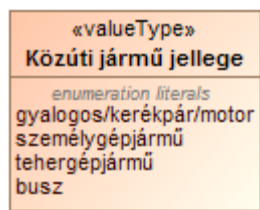
3.1.3.1. Közúti jármű jellege (típusa)

A közút tekintetében talán még fontosabb a típus, mivel itt nagyobb különbségek adódhatnak. Például egy biciklis tömegénél fogva a másik járműben (és az abban utazókban) minimális kárt tud okozni, ám magában védtelen egy vasúti járművel szemben. Míg egy teherautó komoly veszélyt jelenthet egy könnyű vasúti motorkocsira; és előfordulhat, hogyha az ütközés nem a vezetőfülkénél történik, a vezető könnyebb sérülésekkel megússza a balesetet.

Közúton az alábbi főbb típusokat találjuk:

- gyalogos/kerékpár/motorkerékpár (bár a gyalogos nem jármű, de a kategorizálásnál érdemes őt is megjeleníteni) – közel azonos súlyú csoport, és hasonlóan védtelenek a vasúti járművel szemben
- személygépkocsi
- tehergépkocsi (a mezőgazdasági és egyéb önjáró gépeket is célszerű e kategóriájába sorolni)
- busz

Ezen kategóriákat ugyancsak egy saját típusban tudjuk felsorolni (ld. 3.7. ábra).



3.7. ábra – Saját típus: közúti jármű jellege

Szükséges adatok forrása: kihelyezett szenzorokkal, forgalom mérésével megállapítható, milyen jellegű járművek használják az adott átjárót.

3.1.3.2. Közúti jármű tömege

A tömeg itt is összefügg a jelleggel, bár kisebb intervallumok jelennek meg az egyes kategóriáknál (ld. 3.5. táblázat).

3.5. táblázat – Közúti járművek tömegei

Jármű jellege	Tömeg [kg]
gyalogos	30-150 (600) ¹³
kerékpár	50-170 (700) ¹⁴
motorkerékpár	100-500 (1 000) ¹⁵
személygépkocsi	500-3 500
tehergépkocsi	3 500-40 000
busz	3 500-40 000

Szükséges adatok forrása: Szenzorok segítségével akár ez is mérhető, vagy több típus megkülönböztetésével szűkíthetők az átjáróra jellemző értékek.

3.1.3.3. Közúton utazó személyek száma

A közúton utazók általában súlyosabban sérülnek baleset esetén, mint a vonaton ülők, így kiemelten fontos a számuk ismerete.

Az utazókat a jármű jellegnél részletesebb bontásban szerepelteti a 3.6. táblázat.

¹³ Ha több (max. 4) személy van jelen egyszerre az átjáróban.

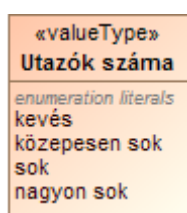
¹⁴ Ha több (max. 4) kerékpár van jelen egyszerre az átjáróban.

¹⁵ Ha több (max. 2) motorkerékpár van jelen egyszerre az átjáróban.

3.6. táblázat – Közúti járművön utazók száma

Jármű jellege	Utazó személyek száma [fő]
gyalogos	1-6
kerékpár	1-4
motorkerékpár	1-4
személygépkocsi	1-6
tehergépkocsi	1-3
busz	1-60

Az utazók számának leírására használható az előbb megalkotott típus (ld. 3.8. ábra). A példányok szintjén a vasútétól eltérő értékeket is felvehetnek az egyes elemek.



3.8. ábra – Saját típus: közúton utazók száma

Szükséges adatok forrása: Kamerákkal, szenzorokkal valamelyest mérhető lehet a számuk, (volánbuszoknál, különbuszoknál a jegyeladás alapján pontosíthatunk).

3.1.3.4. Közúti jármű hossza

A közúti jármű hossza is szűk értékek között mozog (ld. 3.7. táblázat):

3.7. táblázat – Közúti járművek hossza

Jármű jellege	Jármű hossza [m]
gyalogos	1-(3)
kerékpár	2-(6)
motorkerékpár	2-(6)
személygépkocsi	3-5
tehergépkocsi	4-24 ¹⁶
busz	6-18,75

Ide tartozik – a vasútihoz hasonlóan – az átjáró szélessége, vagyis a vasúti vágányok száma, illetve hozzájuk tartozó űrszelvény szélessége. Ez a magyar vasúton 3 150mm vágányonként, illetve hozzávehető a vágányok közti biztonsági távolság.¹⁷

¹⁶ Járművek megengedett terhelési és méretértékei:

<http://internet.kozut.hu/utvonalengedelyezes/jarmumeretek/Lapok/default.aspx>

¹⁷ Ld.: MÁV H.6.sz. utasítás A rendkívüli küldemények kezelésére: 43. oldal.

Szükséges adatok forrása: Személyautónál, gyalogos-, biciklis-, motoros- (csapat)nál jól behatárolható a hossz, mérni sem érdemes, a nagyobb gépjárművek esetén viszont célszerű lehet különböző szenzorokkal ezt eszközölni.

3.1.3.5. Közúti forgalom sebessége

Lassú tempónál itt fokozottan igaz, hogy elkerülhetőbb a baleset; mert valószínű, hogy még időben meg tud állni az autós, ha észleli a közeledő vasúti járművet.

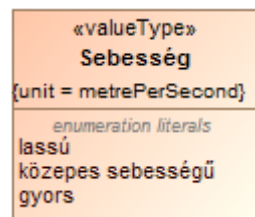
A közúti sebességekről a 3.8. táblázat tájékoztat.

3.8. táblázat – Közúti forgalom sebessége

Mennyiségi kategóriák	Közúti sebesség [km/h]
lassú	1-40
közepes	41-90
gyors	91-150

Itt viszont a vasúttal ellentétben az egyes járművek áthajtási sebessége nagyon változatos, nem a pályából adódik.

Típusként használható ugyanúgy a vasútnál létrehozott (ld. 3.9. ábra):



3.9. ábra – Saját típus: közúti jármű sebessége

Szükséges adatok forrása: Sebességmérő szenzorokkal mérhető.

3.1.3.6. Közúti forgalom sűrűsége

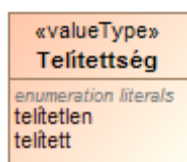
Időben nagyon változó mértékű, nincs meg a vasúti oldalnál tapasztalt igen fix menetrend.

Szükséges adatok forrása: Szenzorokkal mérni kell az érkező járműveket, és lehetőség szerint jármű típusonként számon tartani a forgalom sűrűségét.

3.1.3.7. Út telítettsége (kapacitásra nézve)

Egy adott forgalomsűrűség veszélyesebb lehet egy szűk keresztmetszetű út esetén, mint egy szélesebb keresztmetszetűnél.

A telítettséget szintén saját típussal jelenítjük meg (ld. 3.10. ábra).

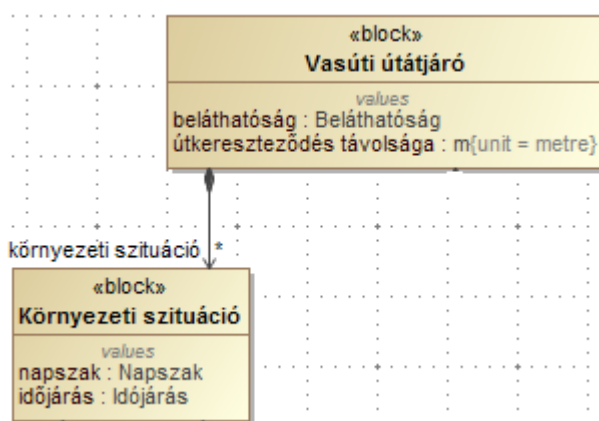


3.10. ábra – Saját típus: közút telítettsége

Szükséges adatok forrása: A forgalomsűrűséget kell összevetni az út áteresztőképességével.

3.1.4. Környezet fizikai paraméterei

A környezet egyéb paramétereit két részre oszthatjuk: az egyes átjárókra állandó értékeket a vasúti útátjáró, míg a változókat a környezeti szituáció alatt tüntetjük fel. Ezt a részletet jeleníti meg a 3.11. ábra.



3.11. ábra – Környezet fizikai paraméterei

Először a változó értékeket, majd a fixeket mutatjuk be.

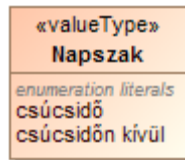
3.1.4.1. Napszak

Az időbeli változást reprezentálja. Ennek megfelelően a dinamikus paraméterek mind eltérő értékeket jelentenek ezekben a meghatározott időintervallumokban.

Különböző mélységű bontást lehet választani.

- Csúcsidő és csúcsidőn kívüli felosztás – pl.:
 - Csúcsidő: 06-10h, 14-18h (összesen 8 óra)
 - Csúcsidőn kívül: 18-24h, 00-06h, 10-14h (összesen 16 óra)
- A nap felosztása csúcsidőszakokra, és közbülső időszakokra – pl.:
 - 06-10h
 - 10-14h
 - 14-18h
 - 18-06h

Saját típusként a két értéket felvevő változatot mutatja be a 3.12. ábra.



3.12. ábra – Saját típus: napszak

Szükséges adatok forrása: Az útszakaszra jellemző csúcsidőszakok megállapítása, forgalomszámlálás útján történhet.

3.1.4.2. Időjárás, útviszonyok

Az időjárás változása következtében a tapadási- és látásviszonyok is egyaránt módosulhatnak. Nem mindegy, hogy száraz időben vezet valaki, vagy esős, havas, esetleg ködös időben. Ezekből is az adott átjáróra lévő eltérő hatásúakat érdemes megkülönböztetni – van ahol elég csak a szárazat és a csapadékos/ködös időt elválasztani.

Ezt a két lehetséges változatot ismét saját típusban szemléltetjük (ld. 3.13. ábra).



3.13. ábra – Saját típus: időjárás

Szükséges adatok forrása: Meteorológiai szenzorok alkalmazása, esetleg kamerák.

3.1.4.3. Beláthatóság (rálátási háromszög)

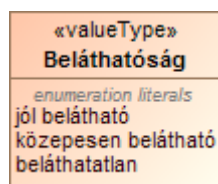
Fix paraméter, az adott átjáróra állandó. Az átjáróra és a felé közeledő járművekre való rálátás mértéke nagyon lényeges tényező. Ha jól belátható távolról is, akkor például egy érkező vonat időben észlelhető, és a jármű megállítható; míg rossz rálátási viszonyok mellett az esélyek jelentősen csökkennek.

Első körben 3 értéket célszerű megkülönböztetni:

- jól belátható
- közepesen belátható
- beláthatatlan

Ezt az igényeknek megfelelően tovább lehet finomítani a későbbiekben.

Ábrázolásuk a környezeti modellben ugyancsak saját típussal lehetséges (ld. 3.14. ábra).



3.14. ábra – Saját típus: beláthatóság

Szükséges adatok forrása: Az átjáró bejárásával a beláthatóság mértéke megállapítható.

3.1.4.4. Legközelebbi útkereszteződés távolsága

Csak a hosszú járműveknél lehet érdekes, mert előfordulhat, hogy a vasúti átjáró után az út beletorkollik egy magasabb rendű útba. Ha ilyenkor a két kereszteződés közti távolság kisebb, mint az éppen áthaladó jármű hossza, és a jármű nem tud áthaladni a közúti kereszteződésen, a vége huzamosabb ideig a veszélyzónában marad.

Tehát ebben az esetben a hosszú járművek balesetének valószínűsége nő.

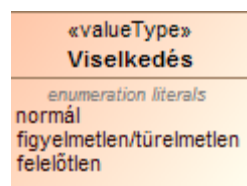
Szükséges adatok forrása: Az átjárónál lemérhető ez a távolság.

3.1.5. Emberi tényezők

Végül, de nem utolsó sorban az emberi tényezőket vesszük számba. Valójában a viselkedés különböző számunkra érdekes eseteit írjuk le, ezeket egy *viselkedés* paraméterben láthatjuk a 3.15. ábrán; típusát pedig a 3.16. ábrán.



3.15. ábra – Emberi paraméterek



3.16. ábra – Saját típus: viselkedés

3.1.5.1. Figyelmetlenség (fáradtság)

Egyénekre jellemző, ám valamelyest napszakhoz köthető – a fáradtság egyik velejárója, így este; illetve csúcsidőben, tömegben araszoláskor megnőhet.

Szükséges adatok forrása: Nehezen mérhető, esetleg kísérletekkel, tesztekkel megállapítható, vagy az említett módon általánosan kalkulálható.

3.1.5.2. Türelmetlenség

Ez is nagymértékben nőhet zsúfolt úton, tehát fogalommal telített csúcsidőszakban.

Szükséges adatok forrása: Nehezen mérhető, esetleg kísérletekkel, tesztekkel megállapítható, vagy az említett módon általánosan kalkulálható.

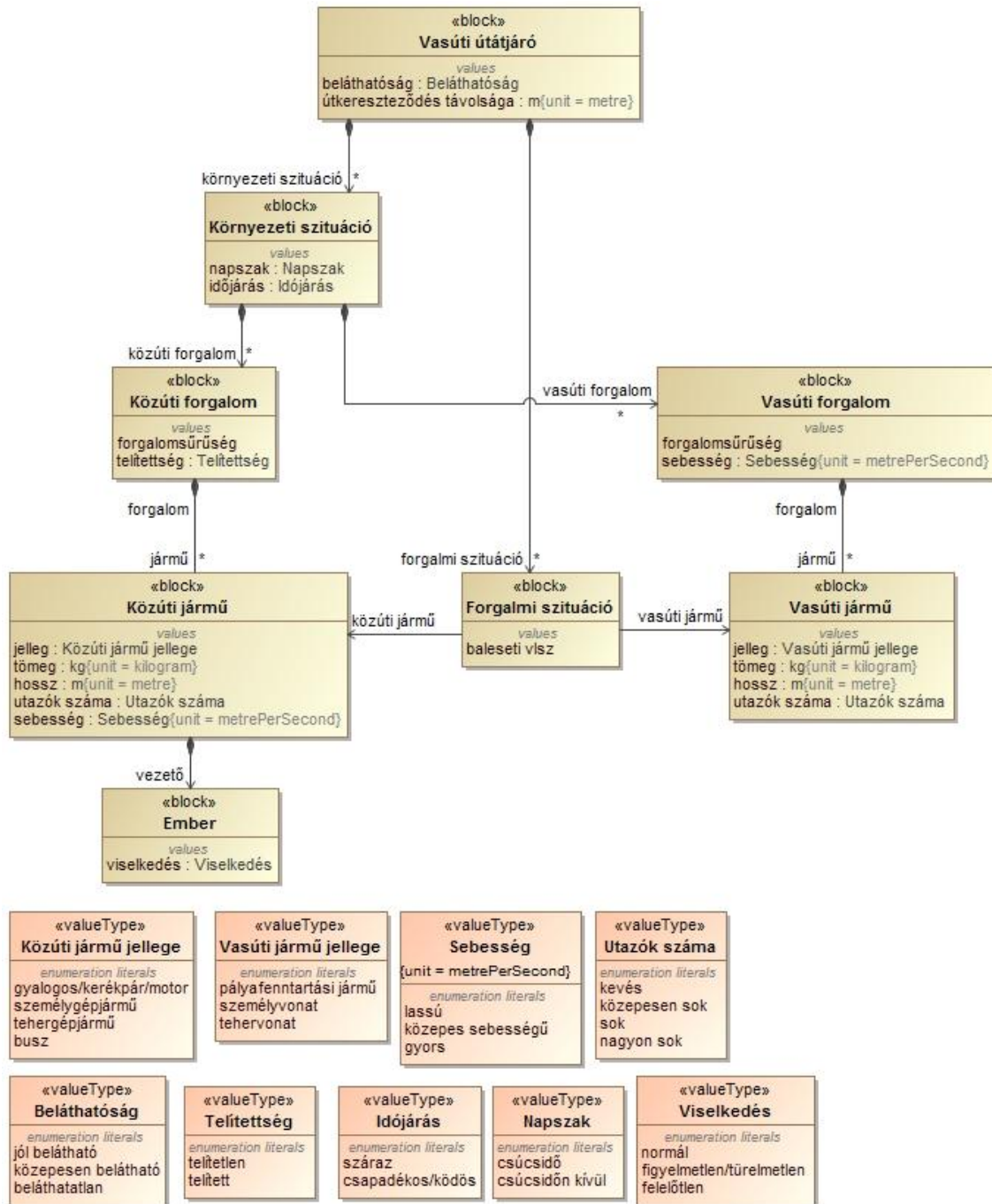
3.1.5.3. Felelőtlenség

Emberi alapsajátosság, általában időtől független.

Szükséges adatok forrása: Nehezen mérhető, esetleg kísérletekkel, tesztekkel megállapítható.

3.1.6. Komplettn környezeti modell

Az előzőekben részletezett környezeti metamodell a 3.17. ábrának megfelelően néz ki.



3.17. ábra – Környezeti metamodell

Látható, hogy a *vasúti útátjáró* az útátjáróra vonatkozó fix adatokat foglalja magában és ezen felül *környezeti szituációkat* „tartalmaz”, melyek a dinamikusan változó fizikai környezeti paramétereket írják le. Ehhez kapcsolódnak a *vasúti* és *közúti forgalom* ada-

taí, melyek több *járművet* is tartalmazhatnak. Végül a közúti járművekhez egy-egy *vezetőt* rendelünk. A *forgalmi szituáció* pedig egy baleseti szituációt jelent, amely az ütközött közúti és vasúti jármű között terem kapcsolatot. Ezen baleseteket átjárónként tartjuk nyilván.

Ehhez a metamodellhez tudunk az egyes átjárókra a mért adatok és statisztikák alapján példánymodelleket létrehozni (mely gyakorlatilag a metamodell konkrét adatokkal feltöltött változata lesz). Egy ilyet a 4. fejezetben bemutatott példa kapcsán írtunk le – a végeredményt a függelék tartalmazza.

3.1.7. Táblázatos megadás

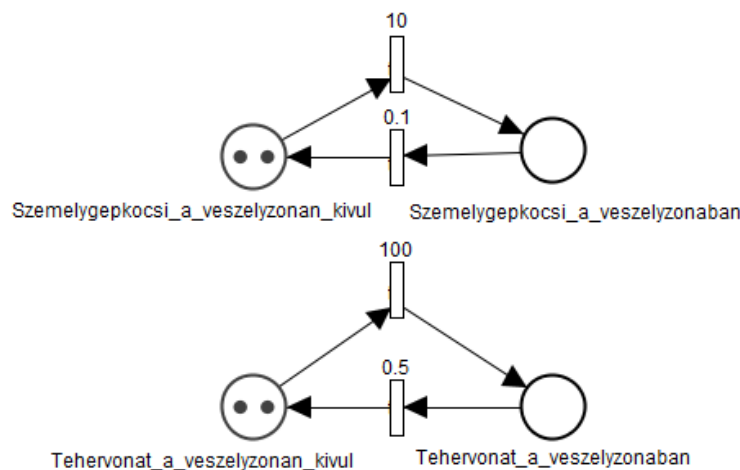
Bár a környezeti modell igen kompakt, a példánymodellek meglehetősen komplexek tudnak lenni; rajzolásuk nehézkessé tud válni. Erre jelenthet megoldást, hogy gyakorlatilag a *példánymodellek táblázatos formában is megadhatóak*. Ilyenkor egy sor jelent egy forgalmi szituációt, és minden kapcsolódó tulajdonság fel van sorolva az egyes oszlopokban. Példának szintén az előzőekben említett függelék szolgál.

3.2. Magas szintű modell megalkotása

Megközelítésünk a vasúti átjáró tekintetében arra fókuszál, hogy a nemkívánatos csúcsesemény (vagyis a baleset) mikor következhet be. Ha egy átjáróban történt balesetet megvizsgálunk, akkor láthatjuk, hogy van egy bizonyos terület, amelyben a vasúti és közúti jármű ütközhet, ezt nevezzük el *veszélyzónának*. Tehát figyelmünket erre a helyre kell összpontosítanunk. Meg kell vizsgálnunk, hogy milyen időközönként érkezik és halad ki innen közúti és vasúti jármű; illetve, ha mindkét részből jelen van egy-egy, akkor milyen valószínűséggel történik baleset.

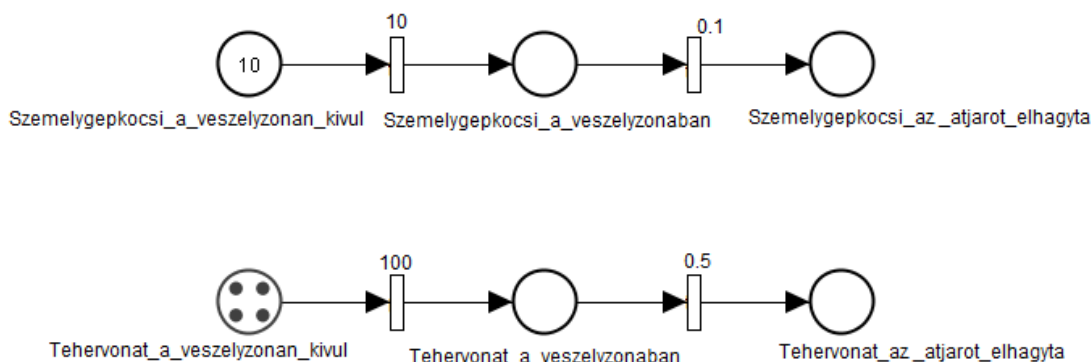
Ennek ábrázolása formálisan, Petri-hálóval a következőképpen a legcélszerűbb:

A vasúti és közúti járműveket külön, de azonosan kezeljük (ld. 3.2.1. fejezet). A 3.18. ábrán láthatóan: egy-egy hellyel jelenítjük meg, hogy a jármű a „veszélyzónán kívül”, vagy pedig a „veszélyzónában” van. Közöttük pedig egy-egy tranzíció reprezentálja a jármű helyváltoztatását (veszélyzónába érkezést és annak elhagyását).



3.18. ábra – Jármű helyzetek – kiindulás

(Valójában logikailag az lenne az indokolt, hogy így nézzen ki a háló: (3.19. ábra)

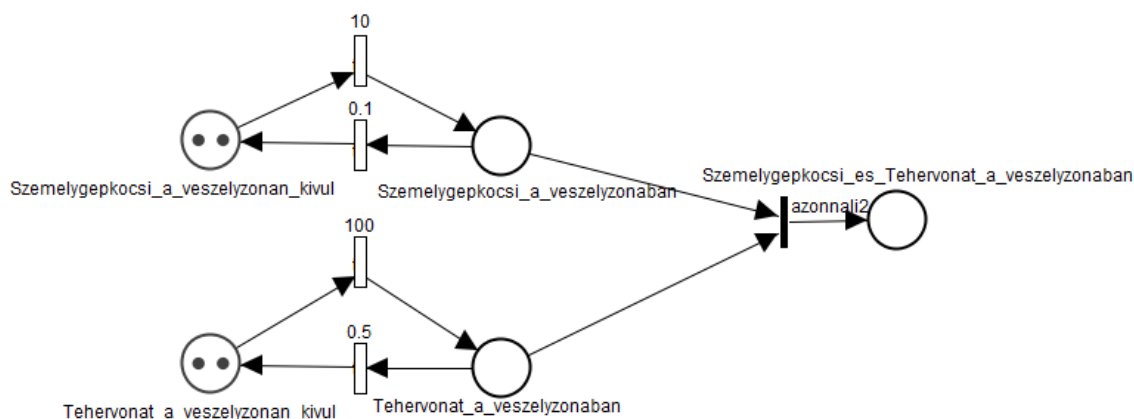


3.19. ábra – Jármű helyzetek – rossz kiindulás

Tehát, hogy egy érkező jármű áthalad a veszélyzónán, aztán elhagyja az átjárót. Ám ebben az esetben annyi token kellene kezdetben megadni a kiinduló helyeken, ahány jármű fog várhatóan érkezni. Ez viszont óriási mértékben megnövelné a tokenszámot, ami az analízis programok futásidejének kezelhetetlenre növekedését vonhatná maga után. Megoldásképp „csalnunk kell”, vagyis az átjárón kívüli helyeket közösítjük; ez által egy token egy átjárón áthaladó járművet fog szimbolizálni (ezen a két helyen), majd amikor elhagyja az átjárót, már egy másik közeledő járművet.)

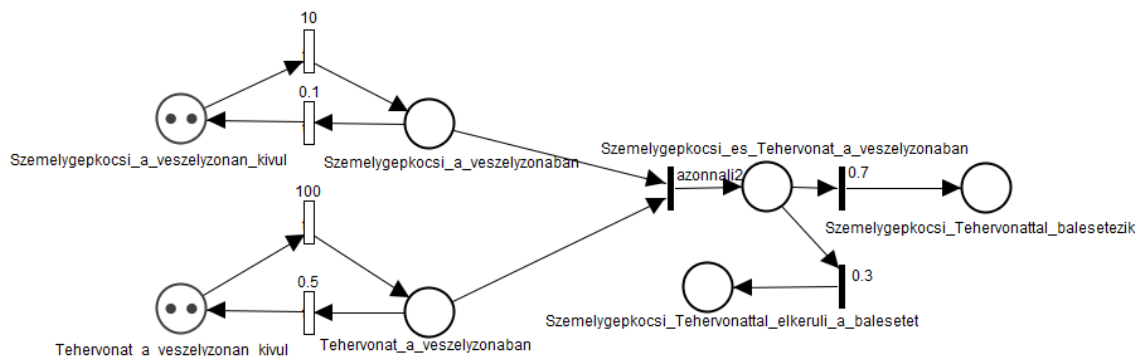
Maguk a tranzíciók jelen esetben sztochasztikus átmenetek, melyek beállításával (ld. 3.2.1.4, 3.2.1.5 és 3.2.1.6 fejezeteket) megadhatjuk, hogy az egyes helyeken maradás idejének (a token átmeneten keresztüli távozásának) mennyi legyen a várható értéke. Tehát a helyről a token az átmeneten keresztül véletlen idő után kerül át a másik helyre, de ezen idő várható értéke pont az általunk beállított mennyiség lesz.

Ezzel a hálóval még csak a jármű normális mozgását írtuk le; a számunkra érdekes esetet, melyben a vasúti és közúti jármű egyszerre van jelen a veszélyzónában, még nem vizsgáltuk. Következő lépésként ezt a szituációt kellene megfognunk, ehhez létrehozunk egy helyet, mely a két jármű egyidejű jelenlétét reprezentálja; és egy azonnali tranzícióval a veszélyzóna-helyekről eljuttatjuk ide a token. (Ld.: 3.20. ábra.)



3.20. ábra – Jármű helyzetek – két jármű együtt a veszélyzónában

Ezen közös helyről két továbblépési lehetősége lesz a tokennek: vagy bekövetkezik a baleset, ekkor egy „balesetezik” helyre kerül át; vagy pedig szerencsésen elkerülik a balesetet, ekkor a „balesetet elkerüli” helyre jut. Ezt mutatja be a 3.21. ábra.

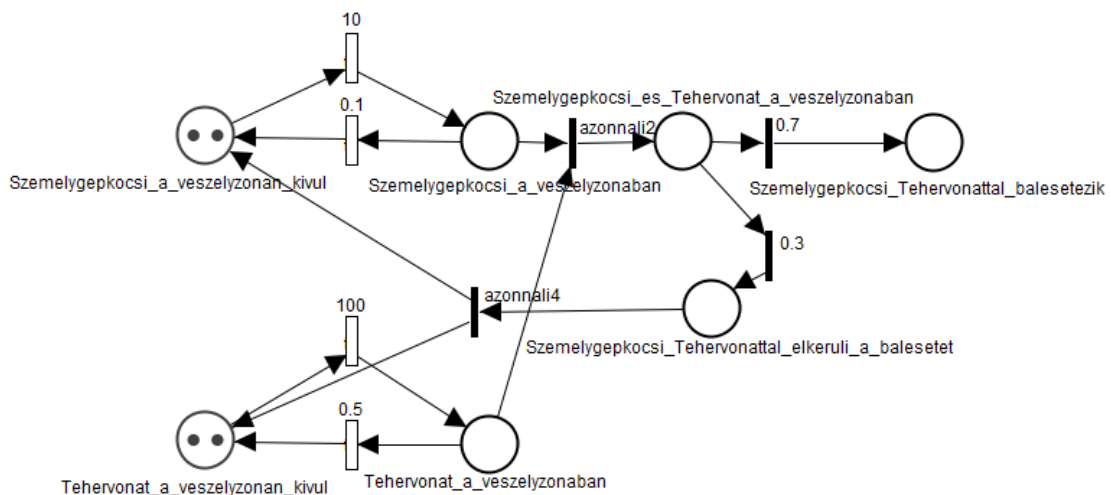


3.21. ábra – Jármű helyzetek – járművek találkozásának eredménye

(Jól lehet, az előbb említett két lépés összevonható; és a közös hely, az oda vezető azonnali tranzíciójával kihagyható, de a megértést ez a struktúra segíti jobban, pláne több jármű jelleg szerepeltetésénél.)

Az előbb létrehozott két tranzíció is azonnali átmenet, viszont valószínűségi alapon lesz közülük az egyik illetve a másik aktív (azonnali sztochasztikus átmenet) – (ügyelni kell rá, hogy a két valószínűség összege kiadja az 1-et).

Végezetül abból az esetből, amikor elkerülték a balesetet szintén vissza lehet vezetni a tokeneket a veszélyzónán kívüli állapotba. (Mivel csak a baleset helyeken gyűjtögetjük a tokeneket, egyébként nem. Ám, ha gyűjteni akarjuk a „majdnem baleset” szituációkat is, akkor a visszavezetést elhagyva a balesetezéshez hasonlóan egy „token-gyűjtögető” helyet volna célszerű létrehozni.) A 3.22. ábrán látható, hogy visszavezetésnél egy azonnali tranzíció juttatja el a tokeneket a veszélyzónán kívüli helyekre. Indokolt lehetne a sztochasztikus átmenet, mint normális esetben, ám az értéke nehezen volna megállapítható. (Előfordulhat, hogy már majdnem letelt a veszélyzónában való tartózkodási ideje, és akkor kerül a helyszínre egy vonat. Ez időben mást jelentene, mintha közvetlenül a zónába lépése után érkezne.)



3.22. ábra – Jármű helyzetek – komplett ábra

Mivel a bekövetkezett baleset helyen „token-gyűjtögetés” zajlik, így a két kezdeti helyen érdemes megnövelni a tokenszámot, ha nem csak az első balesetig akarjuk majd futtatni az analízist.

A következőekben bemutatjuk, hogy ezt az elemi modellt miként lehet felparaméterezni, illetve kibővíteni a különböző környezeti tényezők figyelembevételével.

A paraméterek nagy része tulajdonképpen a baleset bekövetkezésének valószínűségét befolyásolja; így megvalósítható lenne, hogy csupán egy átmenet rátáját módosítsák. Ám ez esetben annak a rátának a számítása igen komplex, átláthatatlan feladat volna. Ezért, amely paramétereket érdemes külön is ábrázolni, azokat mind külön-külön – elemi részabrákkal szemléltetve – mutatjuk be.

3.2.1. Járműforgalmi paraméterek modellezése

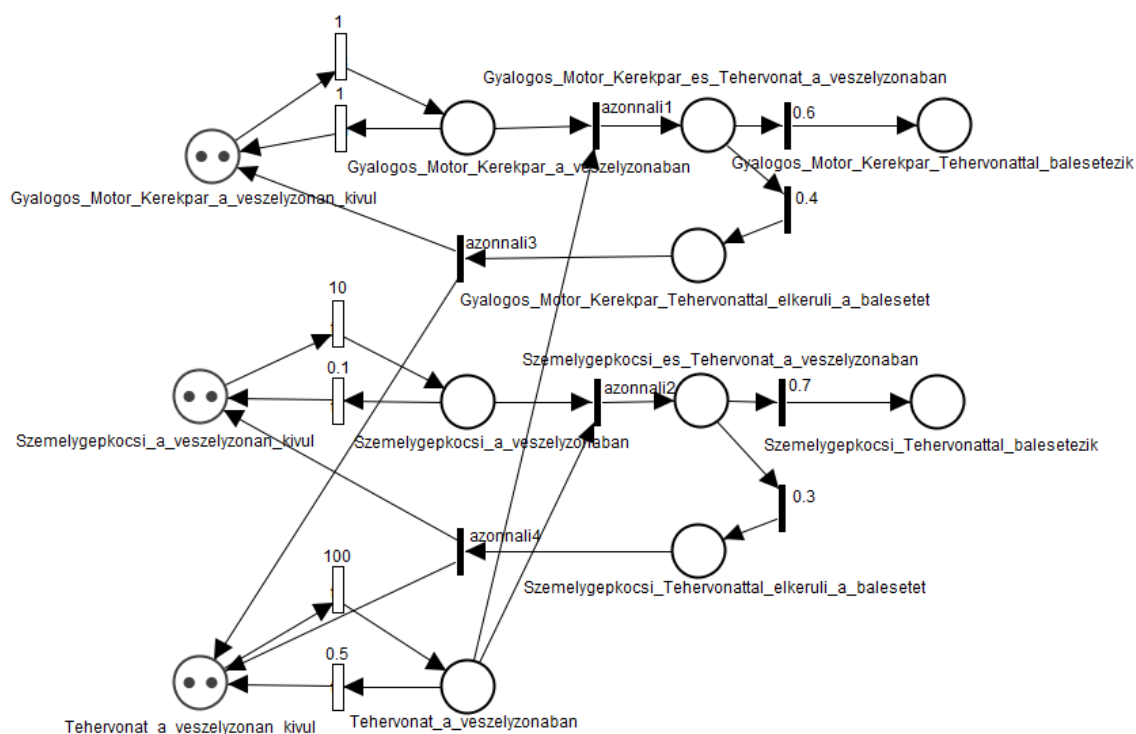
Elsőként a közúti és vasúti paraméterek analízismodellben való megadásával foglalkozunk. Mivel a járműveknek nagyjából azonos releváns paraméterei vannak közúti és vasúti oldalról, így együtt fogjuk felsorolni az ábrázolásukat.

3.2.1.1. Jármű jellege (típusa)

Kezdetnek vegyük a jármű jellegét. Az egyes kategóriákat az ábrázolásnál teljesen külön kezeljük, azonban a viselkedésük azonos. Minden átjáróban előforduló járműjellegre létrehozunk egy-egy az előzőekben ismertetett kezdeti modellt, ezáltal lehetővé tesszük, hogy a jellegenként eltérő különböző környezeti paramétereket mind be tudjuk építeni a modellbe a későbbiekben.

(Értelemszerűen az átjáróban előforduló járműtípusok veszélyzónában és veszélyzónán kívül helyének felvétele után az összes lehetséges vasúti és közúti jármű kombinációt fel kell tüntetni.)

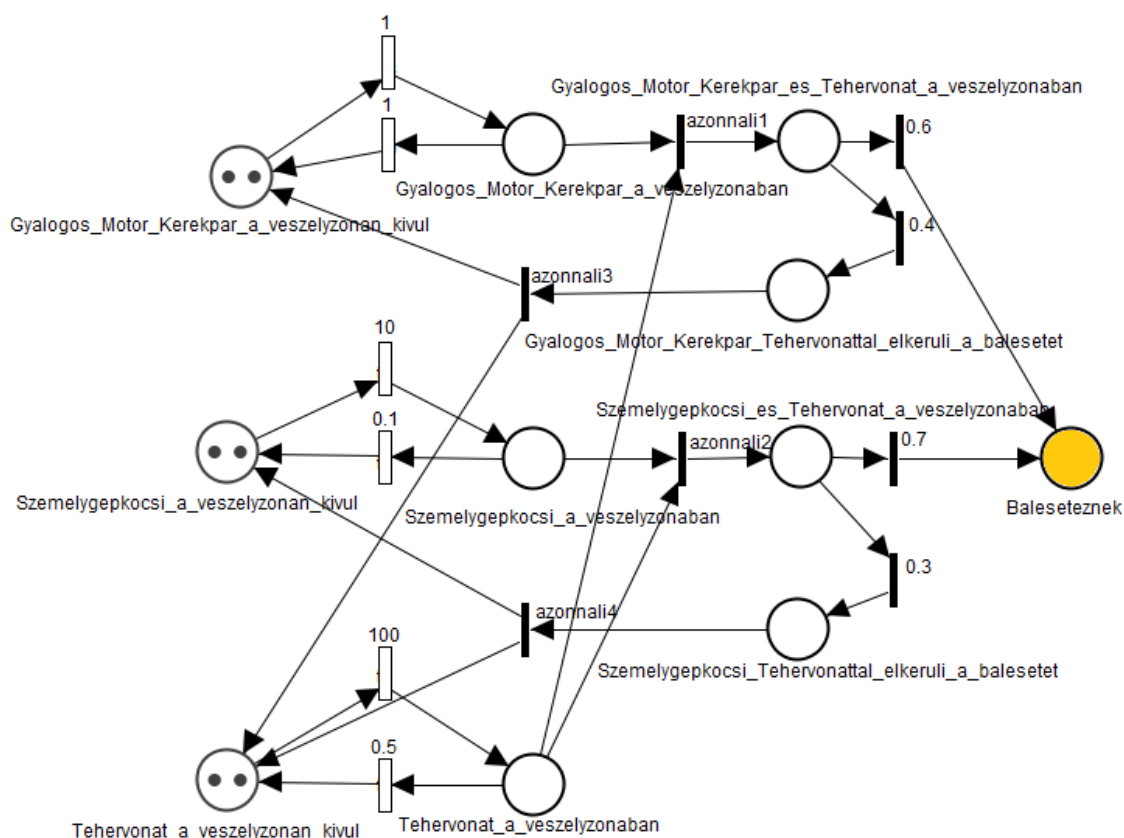
Például egy csak teherforgalom által használt vasúti pálya és egy súlykorlátozás miatt csak személyautók által használható út kereszteződésénél a modell a következőképpen néz ki (3.23. ábra):



3.23. ábra – Jármű jellegek

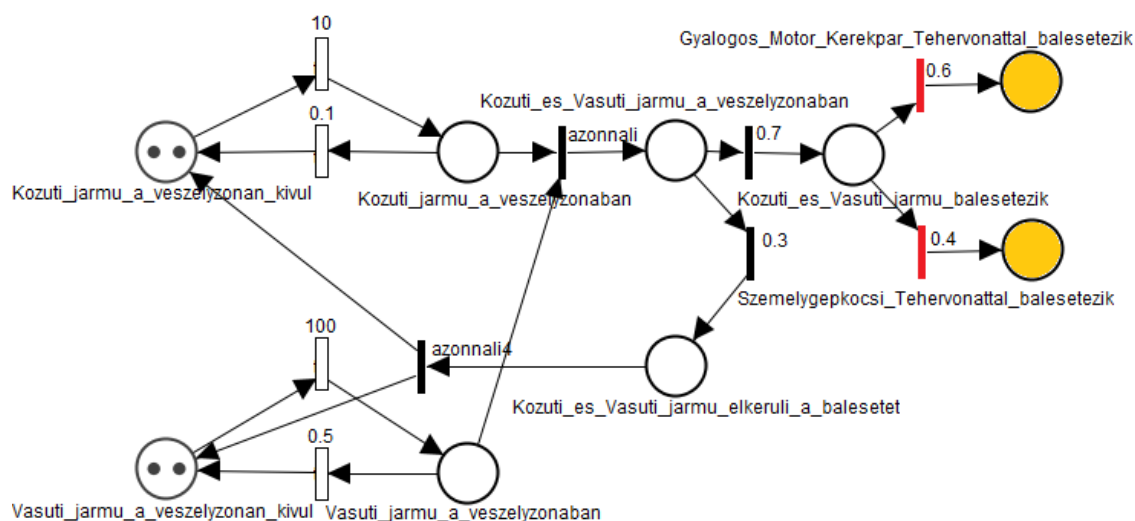
Jármű típus találkozásokként megkülönböztetett baleseti helyeket kell létrehozni, hogy később a jellegből adódó eltérő súlyosságot ábrázolni tudjuk.

Ha csak a balesetek pusztá számára vagyunk kíváncsiak, akkor egyszerűsíthetjük a modellt úgy, hogy egyetlen „balesetezik” helyet hozunk csak létre, nem pedig ütközési típusonként. Ezt a 3.24. ábrán a sárgával jelölt hely mutatja.



3.24. ábra – Jármű jellegek közös baleseti helyyel

Esetlegesen alternatíva lehet az is, hogyha baleseti statisztikák alapján dolgozunk, akkor a balesetekre vetítve tudjuk megmondani, hány személyautó, busz... ütközött. Vagyis a forgalomsűrűségeen kívül más (e téren) mérendő adatra nincs szükség, tehát a jármű jellegre szétválasztást csak abban az esetben tudjuk megtenni, ha bekövetkezett a baleset. Ábrázolásban az eltérést az általánosított (jelleg nélküli) kategórián kívül a sárgával jelölt helyek, és a hozzájuk vezető piros átmenetek jelentik a 3.25. ábrán.



3.25. ábra – Jármű jellegek később (balesetezés esetén) szétbontva

(Jelen esetben viszont elvesztjük a jármű veszélyzónán áthaladásának pontos közelítését, mert egy általános járművet látunk, általános hosszal.)

3.2.1.2. Jármű tömege

Következő paraméterként megvizsgálhatjuk az előbb említett, jelleggel összefüggő paramétert, a tömeget. Mivel szorosan összefügg a jármű jellegével, így nem különítjük el tőle, hanem abban a kategorizálásban jelenítjük meg.

Ezáltal egy egyszerűsítést, átlagolást végzünk, hogy minden kategóriánál a rá jellemző tömeggel számolunk.

Hatása a baleset súlyosságánál érvényesül, tehát az egyes járműjellegekhez tartozó sérülések súlyosságának eloszlását befolyásolja. (Ld. 3.2.4. fejezetben található átmenetek.)

3.2.1.3. Utazó személyek száma → Érintett személyek száma

Az utazó személyek számából kalkulálható baleset esetén az érintett személyek száma. Ha nem elégszünk meg a különböző jellegű járművek baleseteinek megszámlálásával, a modell további bővítésével megjeleníthetjük az érintett személyekre lebontva is az egyes baleseteket.

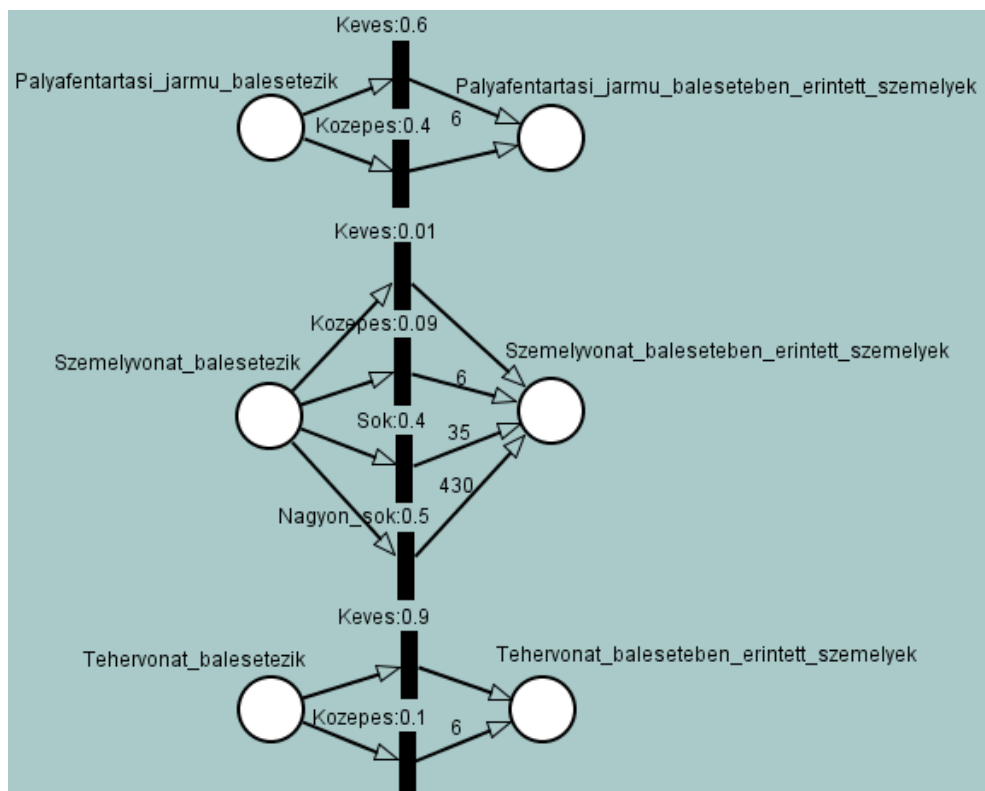
Általános kategóriákat hoztunk létre. Ezek közútra és vasútra egyaránt a következők:

- kevés
- közepes
- sok
- nagyon sok

A mögöttes számok a járműtípusokra jellemző értékekből értelemszerűen következnek.

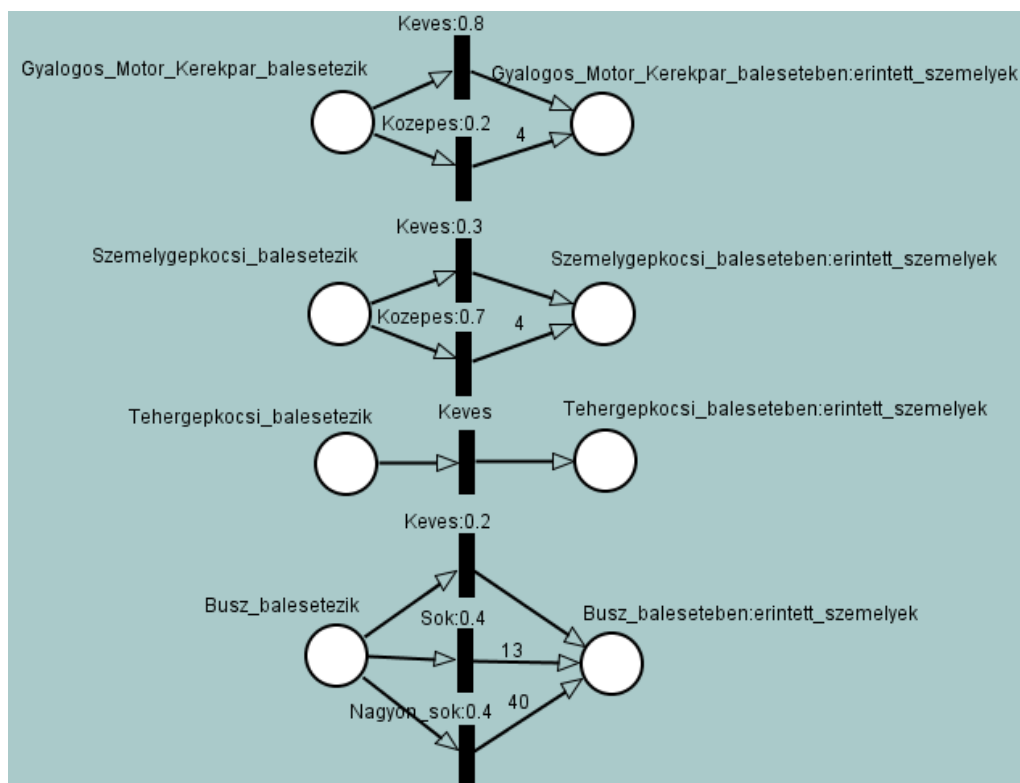
Ebben a lépésben az egyes járműjellegek balesetezési helyein szereplő tokenek az azonnali valószínűség alapú tranzíciókon keresztül átkonvertálódnak balesetben érintett személyekké. Az előforduló járműveket utasszám-kategóriákba soroltuk, majd a kategória várható értékének megfelelő számú érintettet rendeltünk hozzá, ez által a modell kezelhetőbbé vált, mert nem az összes személyszámnak megfelelő számú átmenet szerepel, hanem lényegesen kevesebb. Az azonnali átmenetek valószínűségét az egyes kategóriák átjáróra jellemző előfordulási arányában kell beállítanunk.

Vasút esetében ez a 3.26. ábrán látható:



3.26. ábra – Vasúton érintett személyek

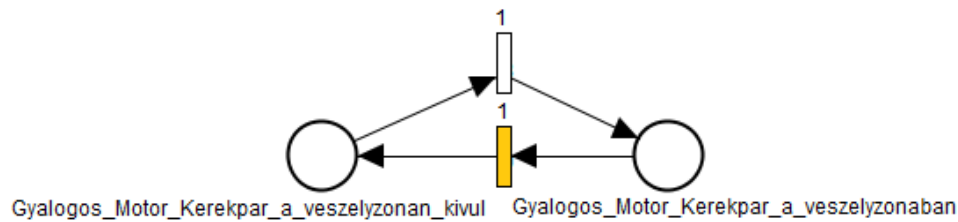
Közút esetén pedig ezt a 3.27. ábra szemlélteti:



3.27. ábra – Közúton érintett személyek

3.2.1.4. Jármű hossza

A jármű hossza járműtípusonként eltérő, jó közelítéssel átlagolható.



3.28. ábra – Jármű hossz befolyása

A 3.28. ábrán sárgával kiemelt átmenet rátájába szől bele (a sebességgel egyetemben).

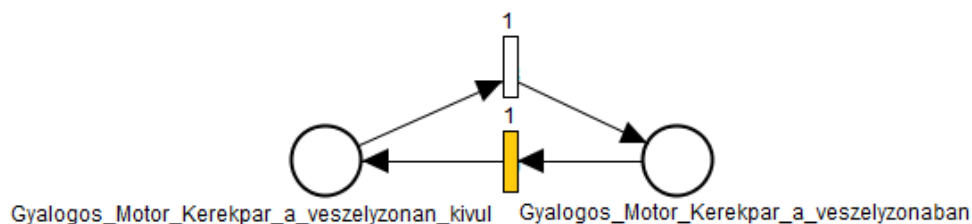
Az átfarón történő keresztülhaladásnál a jármű a következı pillanatok között lehet veszélyben: a jármű elejének veszélyzónába történı belépése és a jármű végének veszélyzónából való kilépése. Tehát ez az eltelt idı számolható a jármű hosszának és a keresztzódés szélességének összegébıl illetve a sebességbıl:

$$\text{veszélyzónában töltött idő} = \frac{\text{jármű hossza} + \text{keresztzódés szélessége}}{\text{jármű sebessége}}$$

(Az átfaróban történı áthaladásakor állandó sebességet tételezünk fel – amely elég jól közelíti a valóságot.)

3.2.1.5. Forgalom sebessége

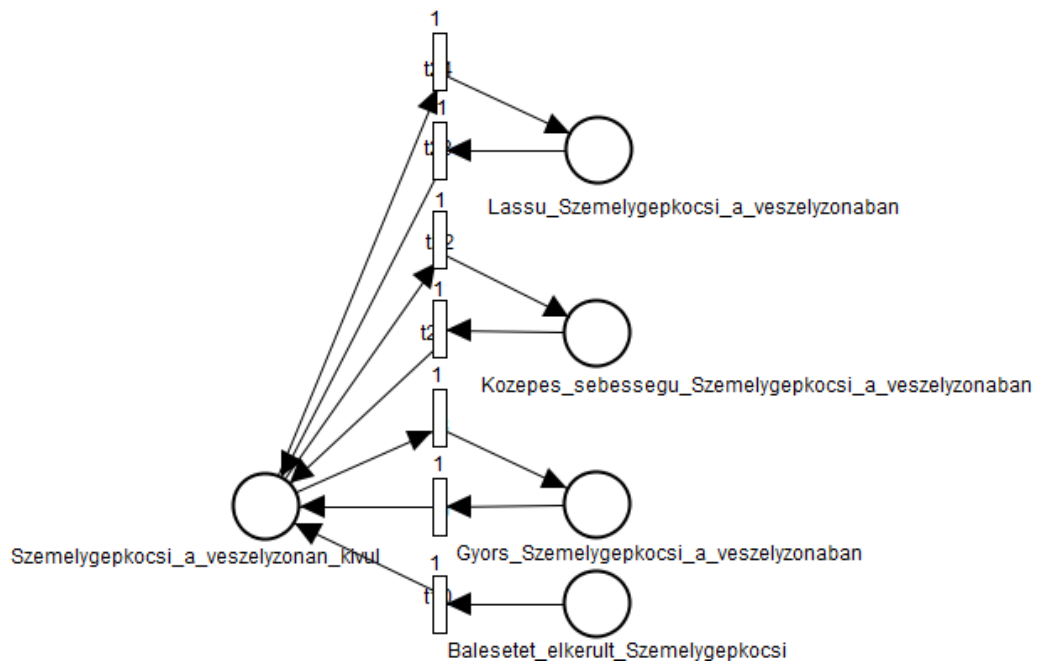
Az elızıekben említetteknek megfelelıen, a sebesség is befolyásolja a 3.29. ábrán kiemelt átmenetet:



3.29. ábra – Jármű sebesség befolyása

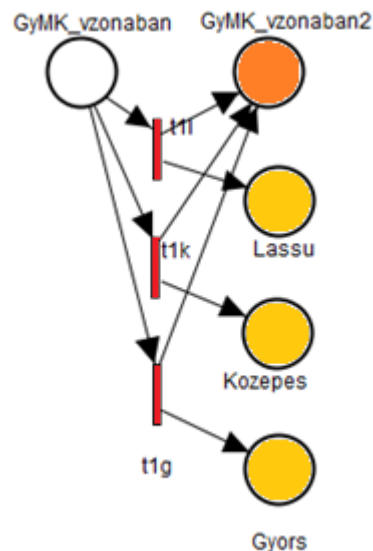
A sebességnek azonban a baleset kimenetelére is van hatása, így nem csak a kijelölt átmenetekben kell megjelenítenünk. Mivel az átfaróba érkező közúti járművek sebessége változó, így az átfaróra jellemző értékszoportokat egy-egy helyel jeleníthetjük meg.

Elsőre logikusnak tőnne úgy reprezentálni a sebességet, hogy minden járműjelleget külön szétbontunk sebességkategóriákra (helyeket létrehozva a lassú teherautónak, a gyors teherautónak, a lassú személyautónak...), mint ahogy ezt a 3.30. ábra mutatja.



3.30. ábra – Jármű sebességek bonyolultan

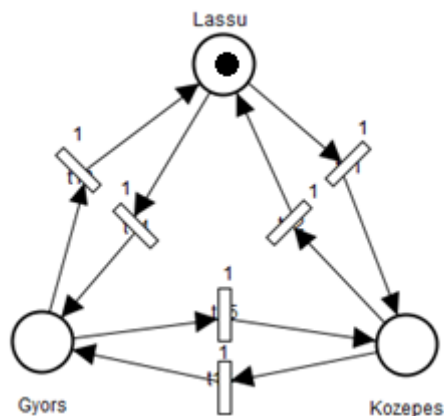
Ám átláthatóbb a sebességeket külön helyekként kezelni, mivel több helyen felhasználásra fognak kerülni (baleseti átmenetek, veszélyzóna elhagyások). Tehát célszerűbb megoldás, hogy minden veszélyzónába érkezett jármű egy azonnali sztochasztikus átmeneten keresztül (pirossal jelölt) átkerül egy szintén veszélyzónabeli helyre (narancssal jelölt). Ezen átmenetek segítségével a sebesség paraméter értékét is megjelenítjük egy megfelelő helyen reprezentált tokennel (sárgával jelöltek) (ld. 3.31. ábra).



3.31. ábra – Jármű sebességek

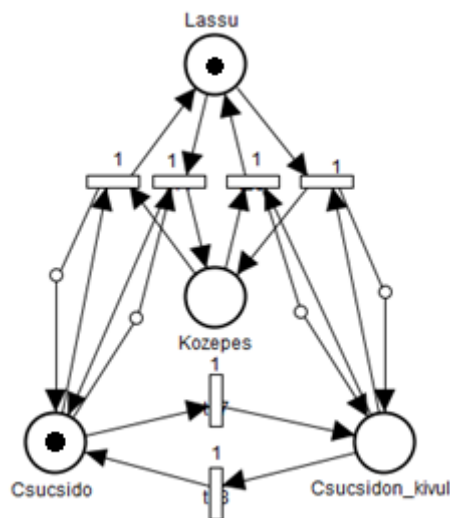
Alternatívaként lehetőség van a sebesség-információk, mint helyek között sztochasztikus átmeneteket meghatározni, (annak alapján, hogy az egyes értékek milyen arányban fordulnak elő). Ekkor járműtől elválasztottá válik a sebesség paraméter (egy időintervall-

lumban nagyjából azonos sebességű járművek érkezése modellezhető megfelelő nagyságúra választott sztochasztikus átmenetek esetén). Ez a 3.32. ábrán látható.



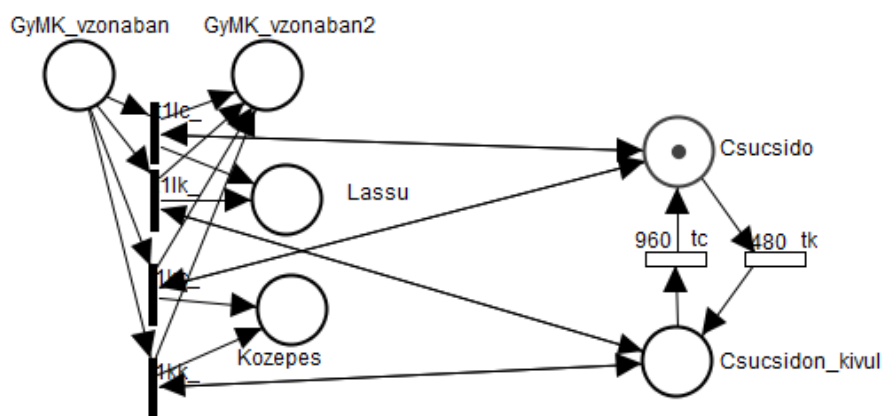
3.32. ábra – Jármű sebességek sztochasztikusan

A napszak változásával bizonyos átmeneteket engedélyezhetünk, bizonyosakat tilthatunk, (illetve kisebb-nagyobb várható értéket állíthatunk be a sztochasztikus átmeneteknek); vagyis az időnek megfelelően a forgalom sebességek előfordulásának arányait is változtathatjuk. Miként a 3.33. ábrán is látható.



3.33. ábra – Jármű sebességek időbeliséggel

Ugyanez az időbeli függés megadható az általunk preferált ábrázolási módnál is (ld. 3.34. ábra).

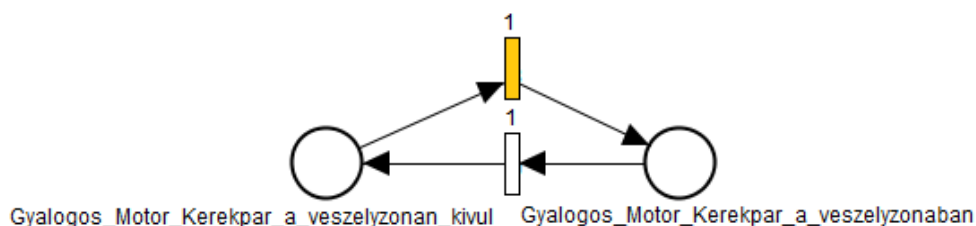


3.34. ábra – Jármű sebességek idővel

A konkrét értékek itt is eltérnek a közút és vasút vonatkozásában.

3.2.1.6. Forgalom sűrűsége

A járművek érkezési gyakorisága járműtípusonként meghatározható (akár a teljes forgalomsűrűségből és az előforduló típusok eloszlásából is).



3.35. ábra – Forgalom sűrűség befolyása

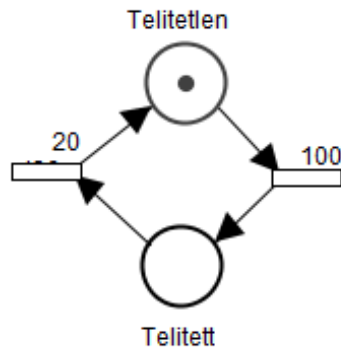
A 3.35. ábrán kiemelt átmenet rátájába szól bele a forgalomsűrűség. Képletszerűen:

$$\text{átmenet késleltetésének várható értéke} = \frac{1}{\text{forgalomsűrűség} \left[\frac{\text{jármű}}{\text{időegység}} \right]}$$

Tehát az átmenet várható késleltetési ideje az adott járműtípus forgalomsűrűségének reciprokából adódik.

3.2.1.7. Út telítettsége (kapacitásra nézve)

Helyként megjeleníthetjük a telítetlen és telített út paramétert (laza és sűrű követést), ha ez utóbbi eset tényleg az átjáró kapacitásának maximumához közeli forgalmat jelent. Ilyenkor megnő a veszélye a balesetnek (ld.: az autós nem látja a mellette haladó kamiontól a közeledő vonatot; vagy még időben észreveszi, és megállna, de a mögötte jövő belerohan, így belöki az átjáróba. Egyébként a két érték között nincs jelentősen eltérő hatás a baleset valószínűségére. Ábrázolva a 3.36. ábrán látható módon néz ki.



3.36. ábra – Út telítettség

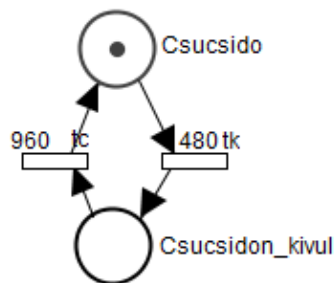
(A telített eset akár beleszámítható a csúcsidő paraméterébe is.)

3.2.2. Környezet fizikai paraméterei

3.2.2.1. Napszak

Különböző mélységű bontás lehetséges, annak függvényében mennyire azonos paraméterekkel rendelkeznek a csúcsidejű időszakok. (Ha sok magas fogalmú időszak van, és például sebességben különböznek, érdemes lehet több hellyel reprezentálni az időszakokat).

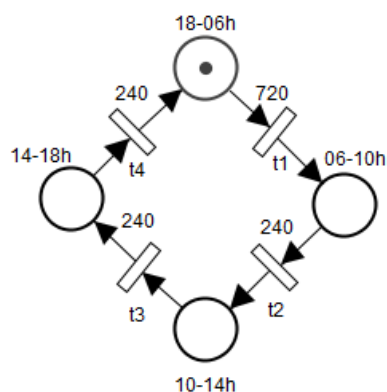
A csúcsidő és csúcsidőn kívüli felosztást mutatja be a 3.37. ábra:



3.37. ábra – Napszakok – 2 hellyel

Az egyes átmenetek paraméterei a csúcsidő 8 órás és a csúcsidőn kívüli időszak 16 órás hosszából adódnak (percben kifejezve).

A nap felosztása csúcsidőszakokra, és közbülső időszakokra (csúcs reggel, és délután) (3.38. ábra):

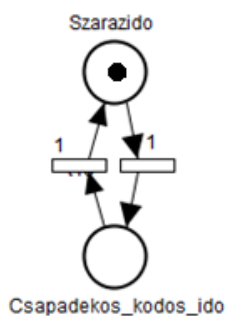


3.38. ábra – Napszakok – 4 helyyel

Jelen esetben akár a sötétedés miatti kockázatot illetve annak hiányát (kivilágított átjáró) is meg lehet jeleníteni az esti órákhoz tartozó baleseti átmeneteknél.

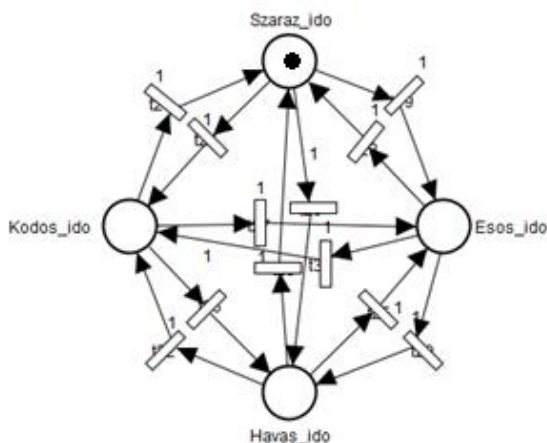
3.2.2.2. Időjárás, útviszonyok

Az időjárás is megjeleníthető két helyyel (ld. 3.39. ábra), ha elég csak annak a ténye, hogy nő a baleset valószínűsége az egyik esetben.



3.39. ábra – Időjárás – 2 helyyel

De akár a különböző természeti hatásonként külön-külön is felvehetünk helyeket (3.40. ábra).



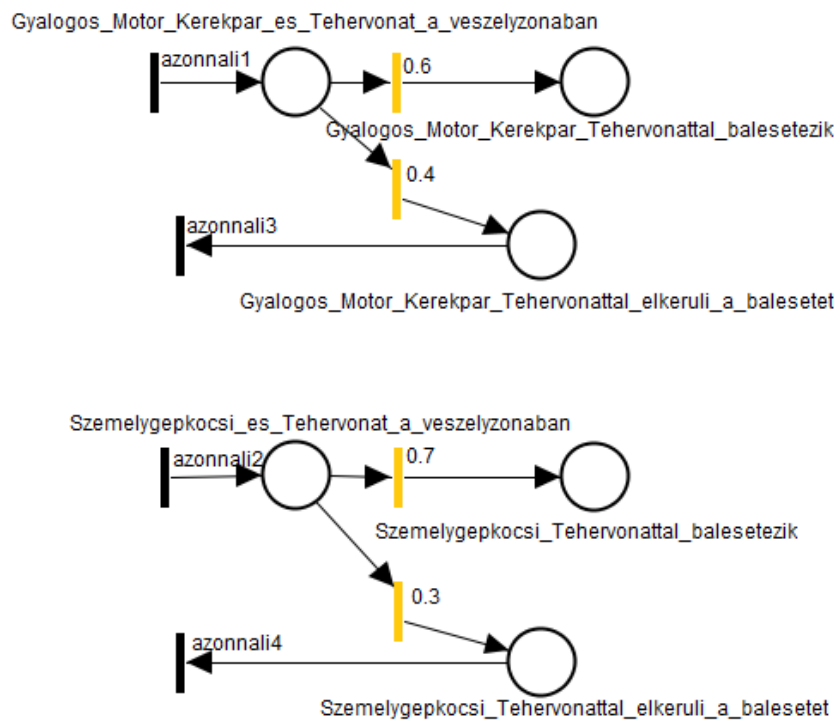
3.40. ábra – Időjárás – 4 helyyel

(A sztochasztikus átmenetnél nem csak exponenciális eloszlás adható meg, (programként eltérő, milyen lehetőségek vannak még – ilyen például az Erlang és az Expolinomiális eloszlás), így lehetőség nyílik az időjárás precízebb modellezésére is.)

3.2.2.3. Beláthatóság (rálátási háromszög)

Fix paraméter, az adott átjáróra állandó. A rossz beláthatóság minden helyzetben növeli a baleset bekövetkezésének kockázatát. Tehát a „két jármű egy időben a veszélyzónában” típusú helyekről induló átmenetek rátáit módosítja (ld. 3.41. ábrán sárgával kijelölt átmenetek).

Ez a módosítás elképzelhető úgy, hogy a meglévő balesetbe vezető átmenetek értékeihez egy bizonyos számot hozzáad, az ellenkező kimeneteli átmenetek értékeiből pedig rendre levon. Így az 1-es összeg az egyes balesetezik/nem balesetezik párokra továbbra is tartható. Ez a szám statisztikák alapján lesz majd meghatározható.

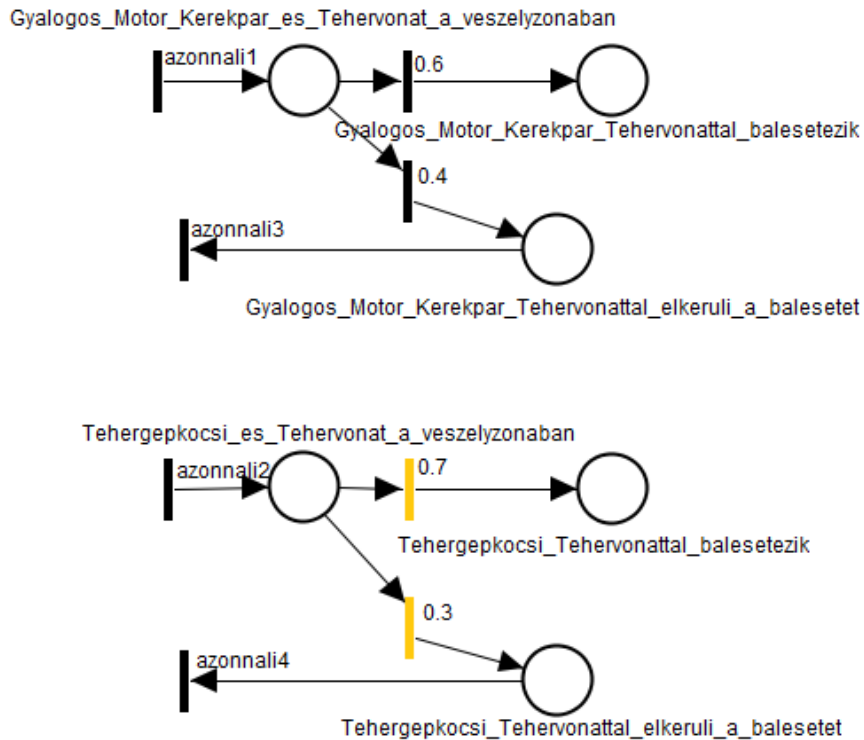


3.41. ábra – Beláthatóság befolyása

3.2.2.4. Legközelebbi útkereszteződés távolsága

Ha a hosszú járművek hosszánál rövidebb ez az érték, akkor a baleseti valószínűségeket az ezt a hosszt elérő járműveknél növelni kell. (Látható a 3.42. ábrán, hogy csak a hosszú járművek átmeneteibe szólhat bele.)

Hasonlóan az előbbihez itt is egy meghatározott szám hozzáadását illetve kivonását érdemes elképzelni az eredeti értékekből.

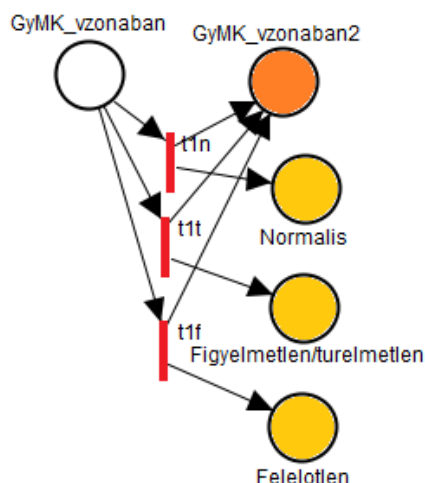


3.42. ábra – Legközelebbi kereszteződés távolságának befolyása

3.2.3. Emberi tényezők

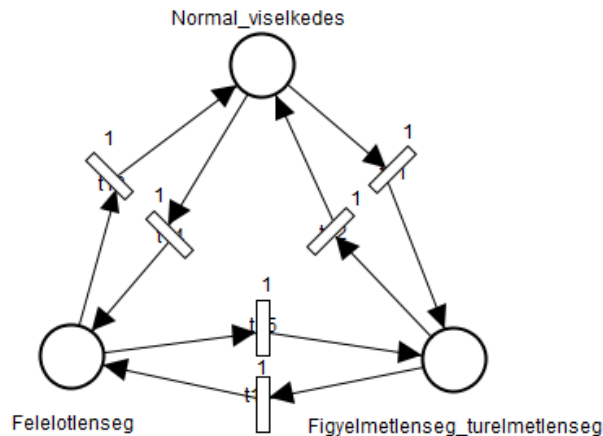
Az emberi viselkedés állapotai is megjeleníthetők egy-egy hellyel. A figyelmetlenség és a türelmetlenség hasonló fogalmak (általában egy időben jelentkeznek (lassan haladó délutáni forgalom...), így egy hellyel szimbolizálhatjuk őket; míg a felelőtleniség időfüggetlen tulajdonság.

A sebességekhez hasonlóan ábrázolhatjuk őket (ld. 3.43. ábra).



3.43. ábra – Emberi tényezők

Az alternatív megvalósítás itt is működhet, ahogy a 3.44. ábra mutatja:

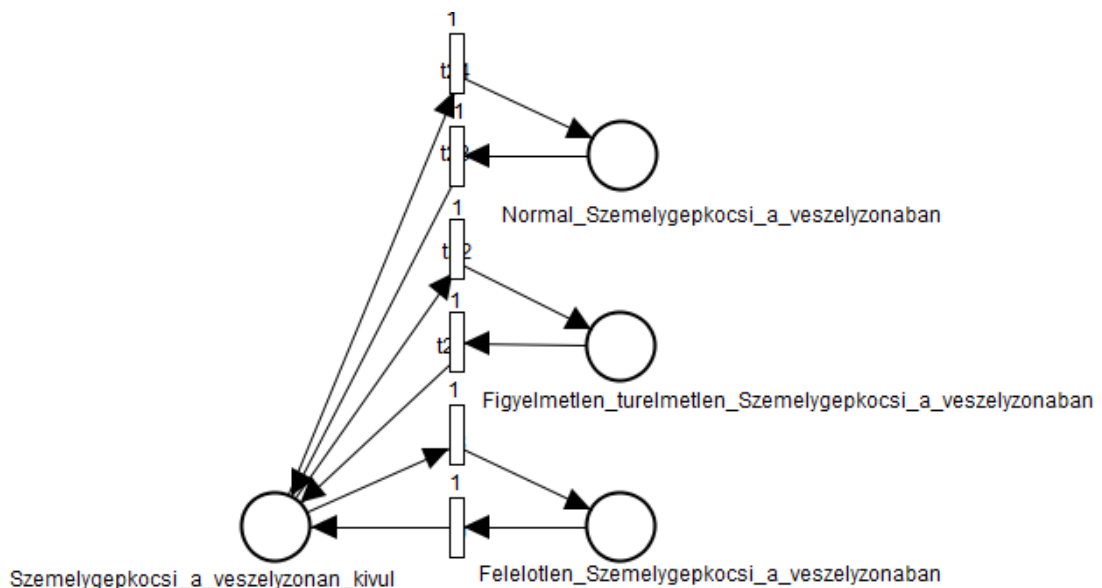


3.44. ábra – Emberi tényezők alternatíván

Hasonlóan a sebességhez, itt is egy modellben látszólag az érkező járműtől független állapotgépet látunk, ám a sztochasztikus átmeneteket úgy állítjuk be, hogy az a forgalomra jellemző emberi tulajdonságokat mutassa.

Az ábrázolás továbbá olyan egyszerűsítéssel is élt, hogy a felelőtlenseg nem lehet jelen egyidejűleg a „figyelmetlenség és türelmetlenség”-gel, mert tulajdonképpen önmagában is tartalmazza azokat.

Másik alternatív megközelítésként itt is le lehet írni járműhöz közvetlenül kötöttén a vezetőjük tulajdonságát – már a veszélyzónába lépéskor szétválasztva az eltérő eseteket (3.45. ábra). (Bár hasonlóképpen elbonyolíthatja a modellt, mint azt a sebességnél tette.)

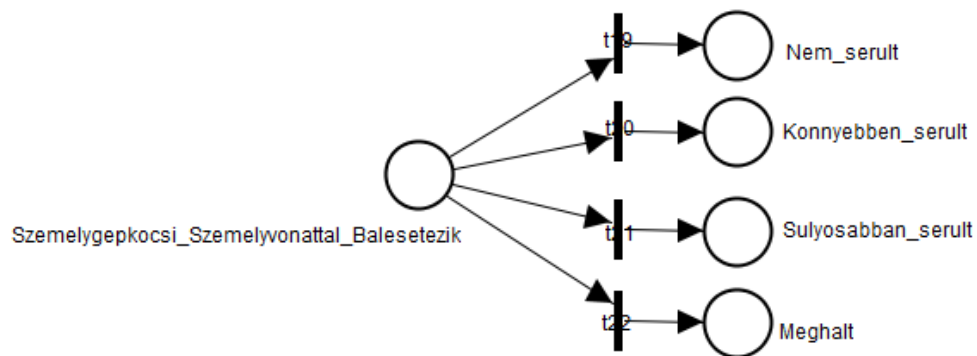


3.45. ábra – Emberi tényezők járművekhez kötve

3.2.4. Balesetek felbontása

A baleseteket vizsgálhatjuk járműtípus kategóriánként, illetve egyben is, kitérve az érintettek számára, illetve a sérülések súlyosságára. Ez utóbbi még nem került bemutatásra.

Mivel a baleseti mérőszámunk a haláleset/átjáró/időegység, így tudnunk kell az egyes balesetekben érintettek számán túl a sérülésük mértékét is (3.46. ábra). (Az egyes sérülési súlyosságok átváltását lásd: a 3. fejezet elején.)



3.46. ábra – Balesetek súlyossága

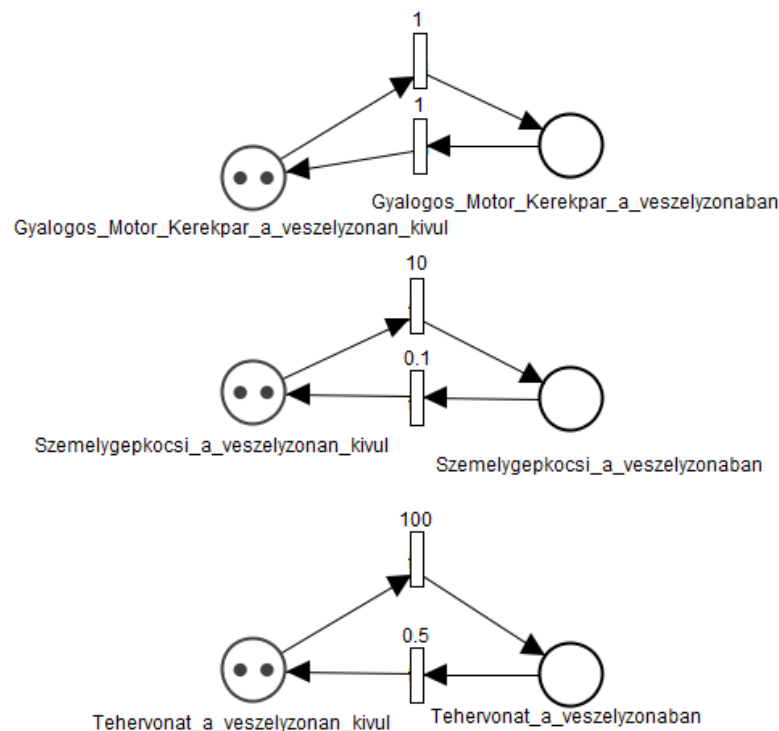
3.3. Analízis modell összeállítása

Az egyenként felsorolt elemekből összeállítható a kockázatelemzés analízis modellje. Ennek módját mutatjuk be, illetve kitérünk az automatizálásának lehetőségére.

3.3.1. Szintézis

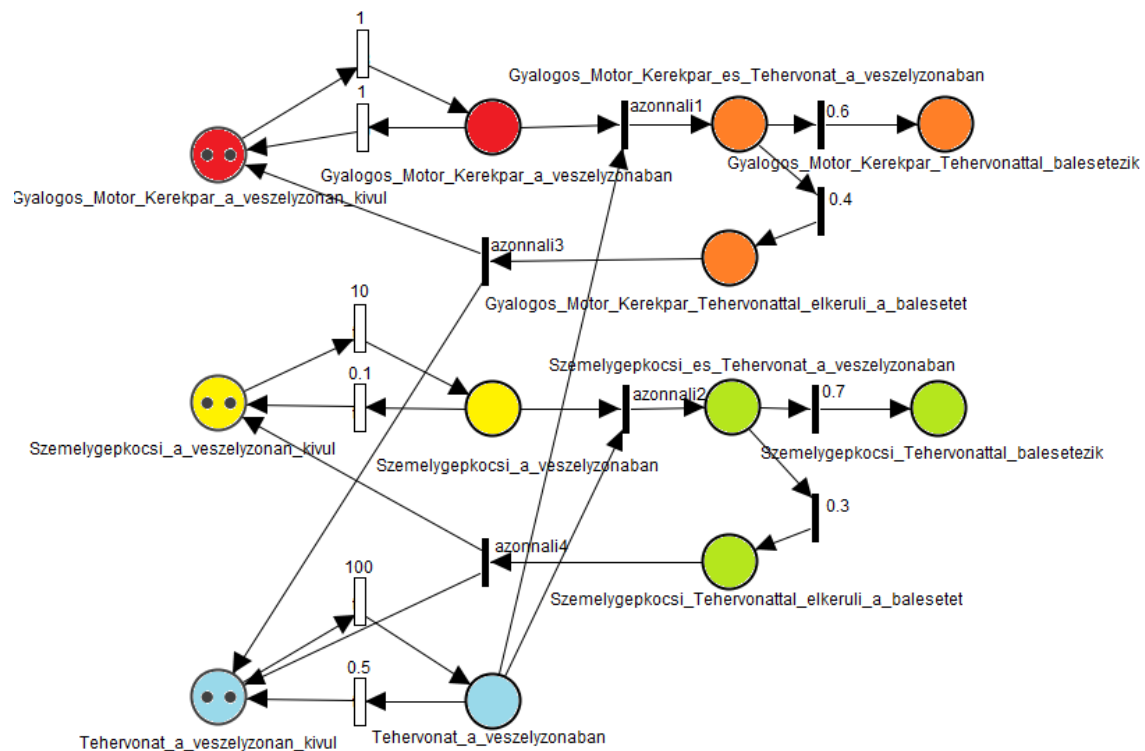
A felvázolt paraméterekből a következőképpen kaphatunk egy komplex modellt:

Az átjáróra jellemző közúti és vasúti jármű jellegeknek megfelelően felrajzoljuk a veszélyzónán kívüli és veszélyzónában tartózkodó helyeket, majd a sztochasztikus átmeneteket közöttük (3.47. ábra).



3.47. ábra – Járműjellegek ábrázolása

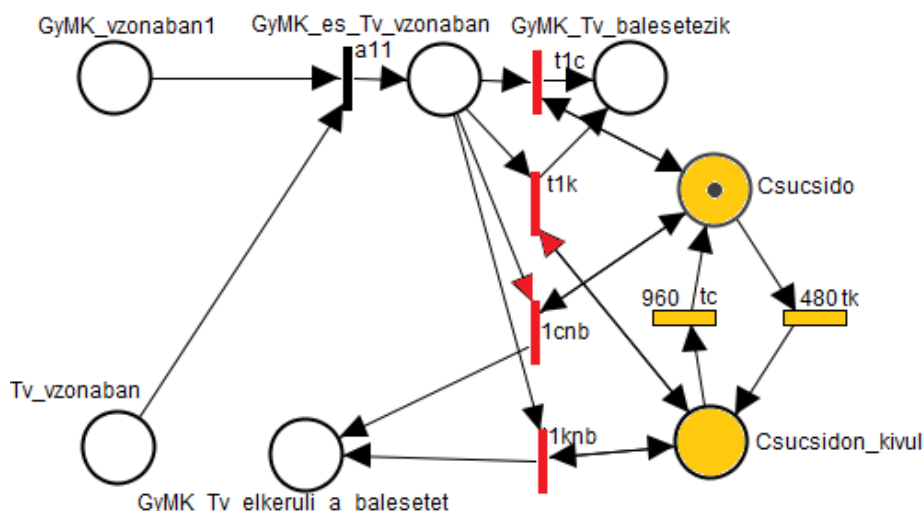
Ezután az összes jelleg szerint lehetséges közúti és vasúti jármű-találkozásnak hozunk létre helyeket („ez ezzel balesetezik”). Vagyis minden baleseti helyekbe vezető átmenetnek bemeneti oldalon kell lennie egy közúti és egy vasúti forrásának is. Ezek már azonnali átmenetek, mint ahogy az innen kivezető, a bekövetkezett vagy elkerült baleset helyeibe vivő tranzíciók is. Utóbbiból mivel több is van, sztochasztikus (valószínűségi) döntést is tartalmaznak. Az említett helyeken felül a balesetet elkerült járművek veszélyzónán kívülre visszavezetéséhez egy újabb azonnali átmenetre, lesz szükség, amelyen keresztül érhetik el a célt. (Részletesebben ld.: 3.2. fejezet.) Az eredmény a 3.48. ábrán látható.



3.48. ábra – Járműjellegek ábrázolása egymásra hatásukkal

A színek is érzékeltetik, melyik két jármű kombinációját jelentik a helyek.

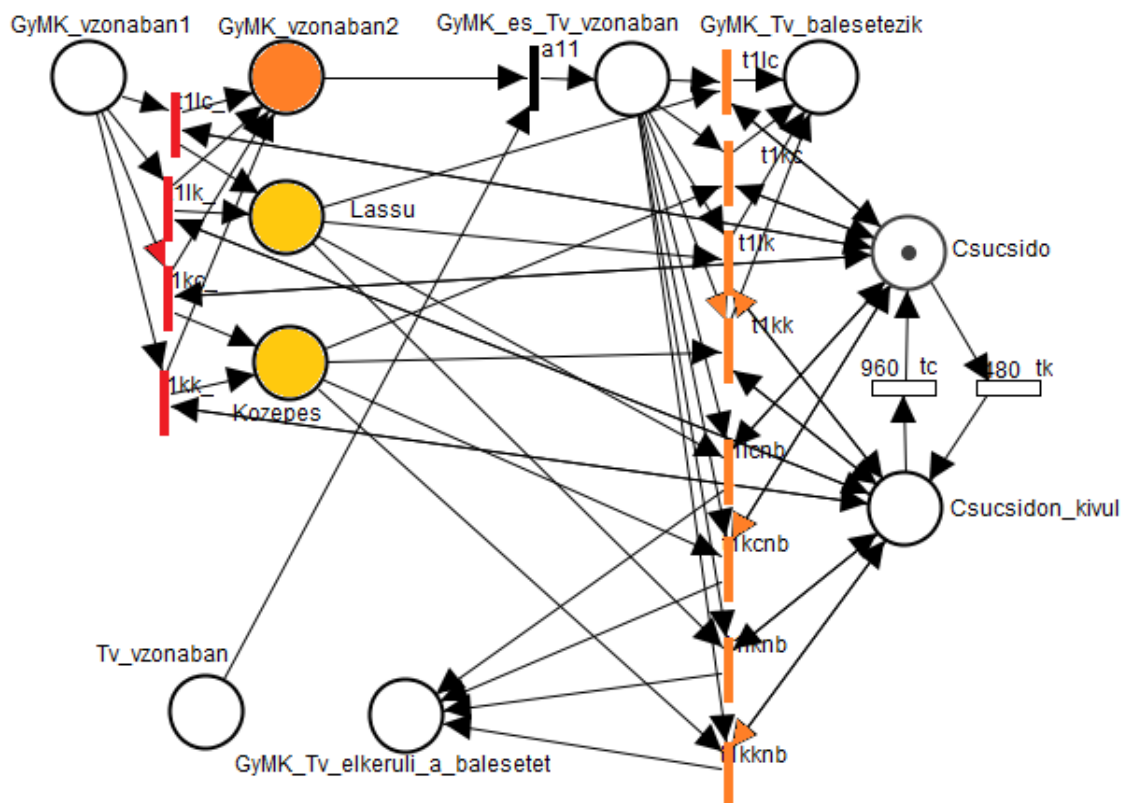
Következő fontos lépés az időbeliséget belevinni a modellbe, itt minden balesetbe való átmenetet annyi felé osztunk, ahány időintervallumnak megfelelő hely szerepel. Ezen átmeneteket a 3.49. ábrán pirossal, míg az új helyeket, és köztük lévő átmeneteket sárgával jelöltük.



3.49. ábra – Időbeliség ábrázolása

Az időbeliség szinte minden átmenetben különböző értékeket jelent, ezért a későbbiekben is figyelni kell rá. (A továbbiakban, ha egy hely és egy tranzíció mindkét irányban össze van kötve, azt egymásra rajzolva ábrázolom, az átláthatóbb kép kedvéért.)

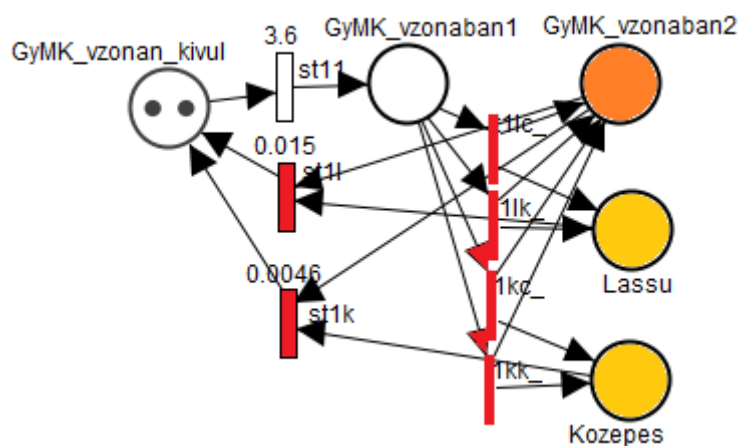
Következhet a sebességek hozzáadása, mely az időhöz hasonlóan megduplázza az átmeneteket (mivel két sebesség jellemző erre az átjáróra) – persze csak azoknál a járműveknél, ahol ezek a sebességek megjelennek – ha például a gyalogos/kerékpáros/motoros kategóriában csak gyalogos fordulhat elő, akkor értelemszerűen ő csak lassan tud átkelni. (A 3.50. ábra mutatja be a sebességek hozzáadását: sárgával a sebességkategóriák helyei látszanak, pirossal az ide vezető átmenetek, míg narancssárgával egy extra hely, mely a sebességek szétosztásához kellett, önmagában új információt nem tartalmaz; végül a narancssárga balesetes és az azt elkerülő átmenetek a sebességek számával szorzódnak.)



3.50. ábra – Sebességek ábrázolása

A sebességek és a napszaknak más kapcsolata is van (a napszaknak kihatása van a sebességek előfordulási gyakoriságára). Ezt a piros átmeneteknél lehet tetten érni.

Végezetül, mivel a sebességnek az átjáróban töltött időre is befolyása van, így ott is annyi számú veszélyzónából kivezető átmenetet kell alkalmazni, ahány féle sebesség jelenhet meg. Ez a 3.51. ábra szélesebb piros (nem azonnali sztochasztikus) átmenetein látható.

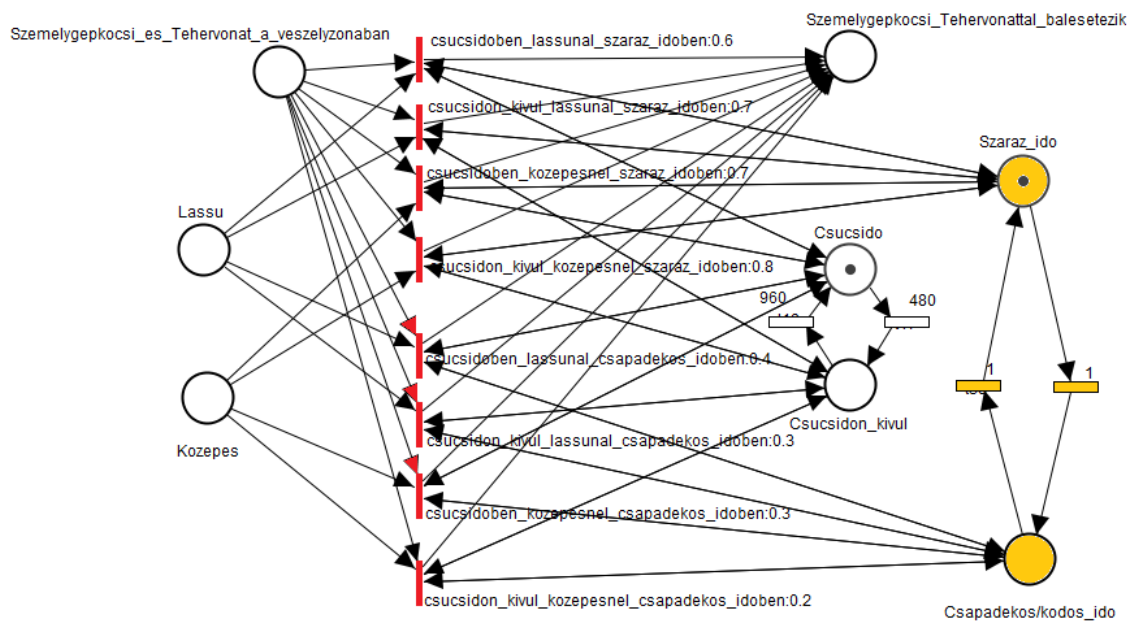


3.51. ábra – Sebesség veszélyzónából kilépésre való hatásának ábrázolása

A sebesség vasúti oldalról általában azonos minden elhaladó járműre, így külön helyekként nem jelenítjük meg; ám ha olyan átjáró a vizsgálat tárgya, ahol a tehervonatok lassabban haladhatnak csak, vagy valamilyen más okból eltérőek a vasúti járművek sebességei az átjárón való keresztülhaladáskor, ugyanilyen módszerrel felvehetők azon sebességkategóriák is.

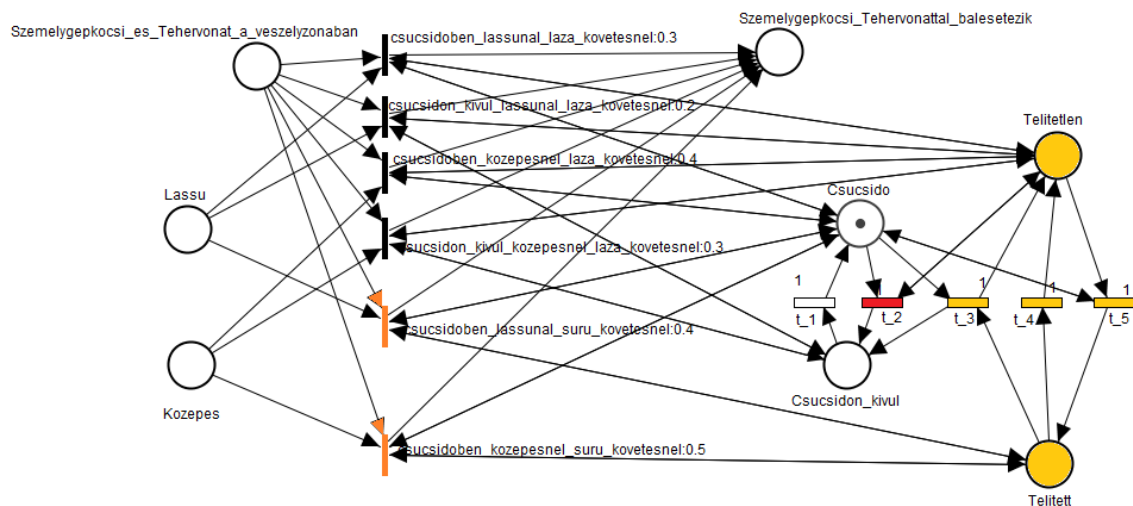
Megjegyzés: szemmel már nehezen követhető a modell, így a következőekben már csak a bekövetkező balesetre fókuszálók, (az elkerülés átmenetei is hasonlóképpen bővülnek).

Időjárással bővített változatot mutat a 3.52. ábra:



3.52. ábra – Időjárás ábrázolása

A csúcsra járatott átjáróknál előforduló telítettség (sűrű követés) ábrázolása szintén hasonló az előzőekhez, ám mivel sűrű követés csak csúcsidőszakban fordulhat elő, így nem duplázza az átmenetek számát, mert hiányozni fognak a csúcsidőn kívüli és sűrű követéses átmenetek (ld. 3.53. ábra narancs átmenetei).



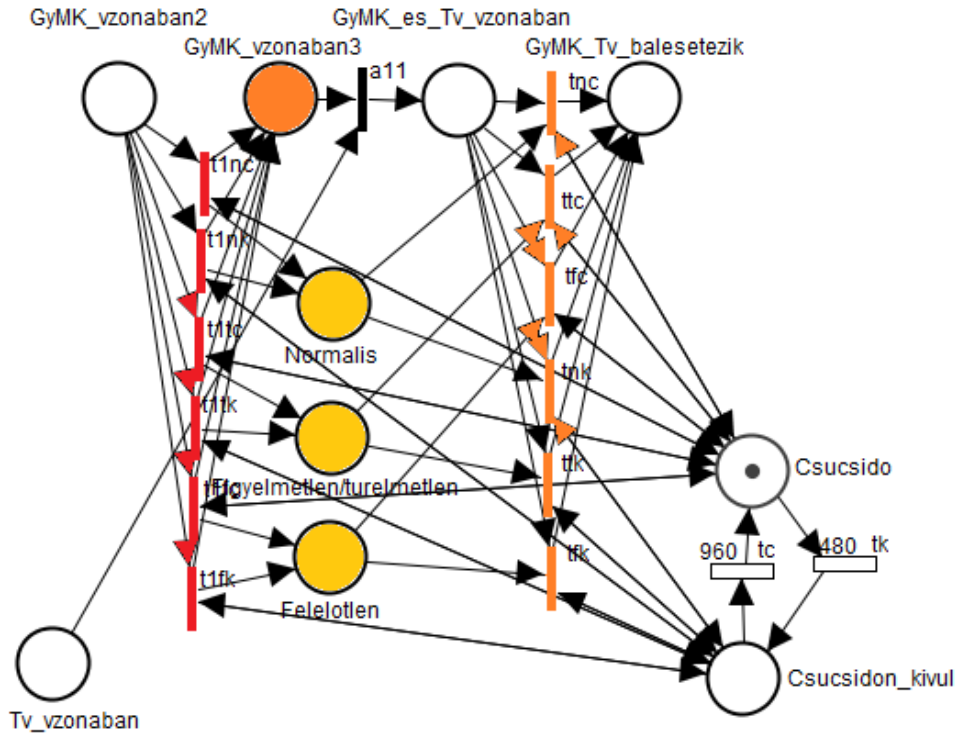
3.53. ábra – Telítettség ábrázolása

Ami viszont jelentősen különbözik az eddig ismertetett paraméterektől az a követés napszaktól való függése. Vegyük sorra az elnevezett tranzíciókat:

- t_1 : Normál átmenet csúcsidőn kívülről csúcsidőbe.
- t_2 : Átmenet csúcsidőből csúcsidőn kívülre, de csak akkor lesz engedélyezve, ha éppen laza követés van. Hatására a laza követés nem módosul (visszkapja a ki-vett token).
- t_3 : Átmenet csúcsidőből csúcsidőn kívülre, ez pedig – az előzővel ellentétben – csak akkor lesz engedélyezve, ha éppen sűrű követés van. Hatására a forgalom átkerül sűrű követésből laza követésbe.
- t_4 : Normál átmenet sűrű követésből laza követésbe.
- t_5 : Átmenet laza követésből sűrűbe, mely akkor lesz engedélyezve, ha csúcsidőszak van (ez visszkapja a token, tehát nem módosul a napszak).

Ezzel elértük, hogy sűrű követésbe csak csúcsidőben kerülhet a rendszer.

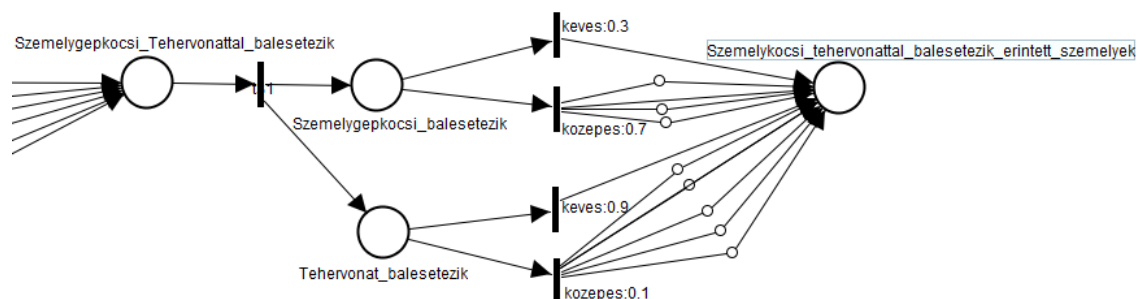
Következhetnek az emberi tulajdonságok. Felvesszük a 3 helyet a normális, a felelőtlen és a köztes (figyelmetlen, türelmetlen) viselkedésnek megfelelően (ld. 3.54. ábra).



3.54. ábra – Emberi tulajdonságok ábrázolása

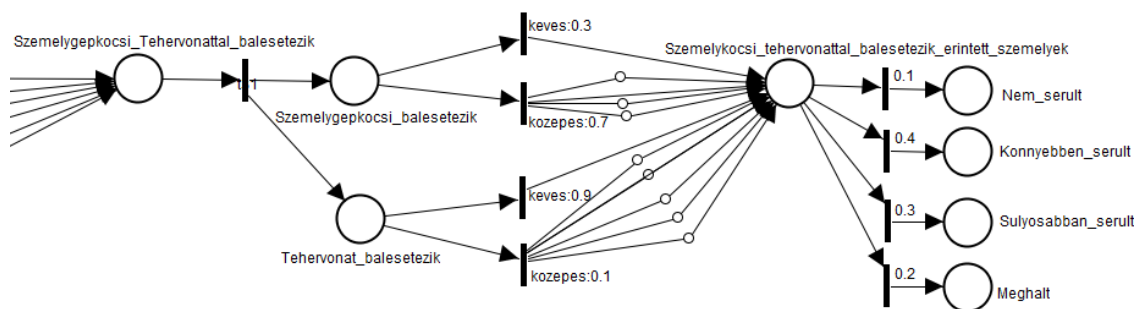
Ezek is hasonlóan megsokszorozzák az átmenetek számát.

Végezetül a balesetek kategorizálását lehet kibővíteni opcionálisan az érintettek számával, illetve még később a személyi sérülések súlyosságával. Az érintetteket külön számoljuk össze a közúti és külön a vasúti oldalról, ehhez legegyszerűbben a balesetező helyből egy azonnali átmenettel két közbülső helyre vezetjük a token, melyek a közúti járművet és a vasúti járművet fogják szimbolizálni. Ezek után minden járműjelleghez a neki megfelelő átmeneteket jelenítjük meg, melyek a 4 kategória (kevés, közepes, sok, nagyon sok) bizonyos elemeit tartalmazzák. Az átmenetek a várható értéküként meghatározott számban sokszorozzák meg a tokeneket, melyek innentől már embereket szimbolizálnak (ld. 3.55. ábra).



3.55. ábra – Érintett személyek ábrázolása

Már csak a balesetek személyre vetített súlyossága van hátra. Ekkor már közös baleseti súlyossági helyet lehet alkalmazni, tehát a jármű találkozásokonkénti szeparáció innentől már felesleges. Ezt mutatja be a 3.56. ábra.



3.56. ábra – Súlyosság ábrázolása

3.3.2. Automatikus generálás

Mint sejthető, egy ilyen modellt kézzel összeállítani nagyon komplex feladat, tehát praktikus lenne generálni. A környezeti modellből vagy táblázatból megadható a leképezés. Ám kellene még hozzá, hogy a Petri-háló rajzoló és elemző eszköz támogassa, hogy programon kívülről is létre lehessen hozni modellt. Vagyis nyilvános bemeneti formátuma legyen, amelyet tudunk generálni, vagy pedig biztosítson egy API-t.

Az általam kipróbált eszközök egyike se nyújtja azt a funkcionalitást, amely szükséges lenne a modellalkotáshoz, analízishez. A TimeNET program nem kezeli az azonnali sztochasztikus átmeneteket, melyek a nulla idejű, valószínűségi döntésekhez lennének szükségesek. Az Oris eszköz pedig az élsúlyokat nem ismeri, és a kényszerek megadásának pontos szintaktikájához nem nyújt segítséget az elérhető leírás.

A dolgozat fókuszában az elmélet megalkotása állt, az automatikus generáláshoz szükséges professzionálisabb eszközök megtalálása, kipróbálása – lévén, hogy bonyolult, általában fizetős eszközökről van szó – nem tartozik szorosan a műhöz. (Később, ha a gyakorlatban való alkalmazásra kerül a sor, az ipari partnerek tetszőlegesen választhatják az általuk használt, bevált eszközt – feltéve hogy megfelel a vele szemben támasztott követelményeknek.)

3.4. Analízis elvégzése

Miután elkészült a modell, következhet az elemzések elvégzése. Jellemzően a balesettel kapcsolatos információkra vagyunk kíváncsiak: „hány baleset történt adott idő alatt?“, „hány személy érintett összesen a balesetekben?“, „hány könnyű, hány súlyos sérült van és hány halott?“.

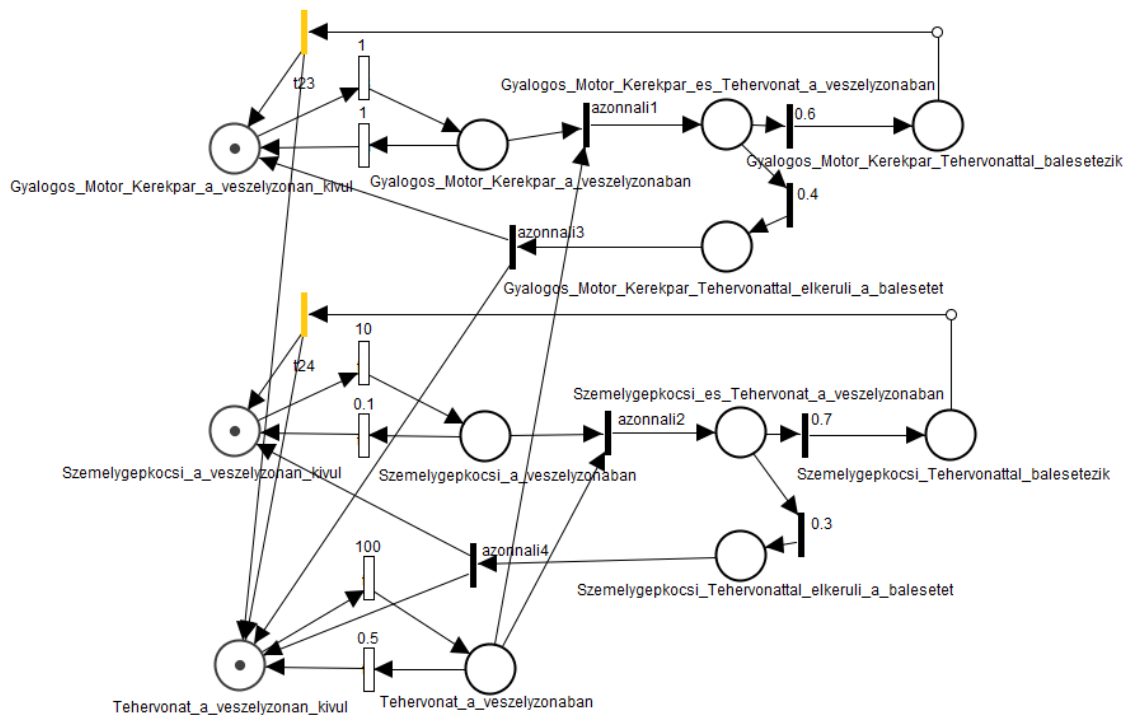
A Petri-háló kétféle analízis lehetőséget kínál.

- Állandósult analízist: ez egy végtelen idejű analízis. Segítségével kiszámolható a baleset és balesetmentes állapot aránya (mivel lényegében ezek váltakozását szemlélteti a modell). (Ld.: Várhatóan mennyi időt tölt a rendszer „balesetezik” állapotban az összes időhöz képest?) Ezen arányszámból konkrét kockázati értéket nem nyerhetünk, viszont lehetőséget ad különböző konfigurációk összehasonlítására.

- Tranziens analízist: ez egy beállított időintervallumra vonatkozik (pl. 1 hét). Használatával egzakt mérőszámokat kapunk, hogy várhatóan hány ilyen vagy olyan baleset következik be az adott időn belül.

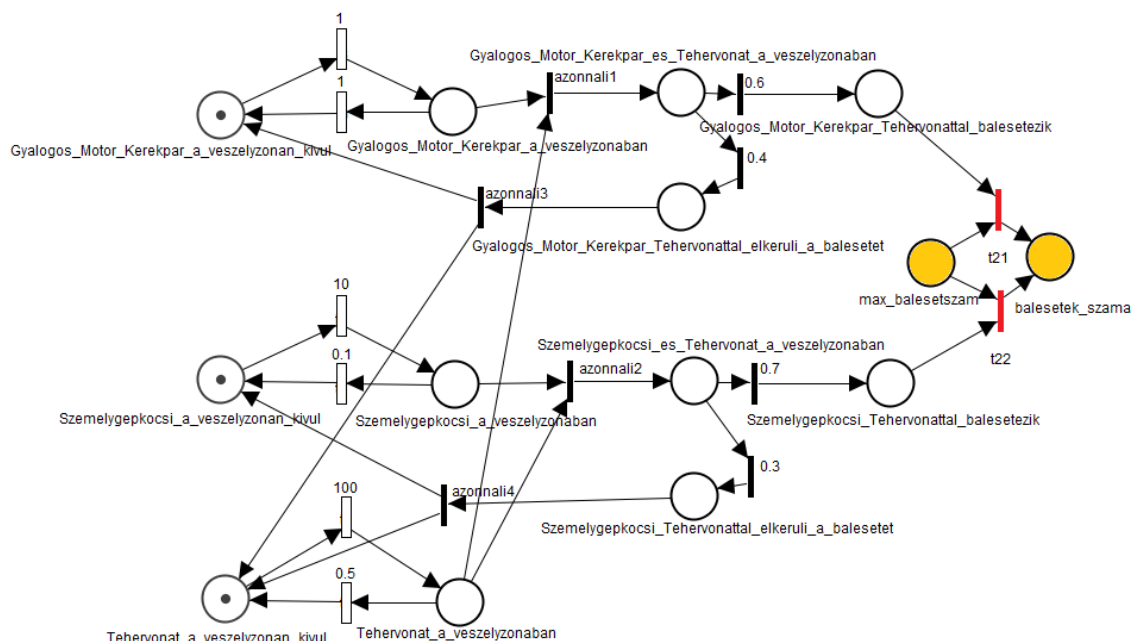
Megvalósításuk:

- Az állandósult analízisnél olyan esetekhez állnak rendelkezésünkre hatékony algoritmusok, amelyeknél véges az állapotter, tehát nem lehetnek „token-gyűjtő” helyek. Vagyis esetünkben a tokeneket balesetező helyekről vissza kell vezetni a veszélyzónán kívüli helyekre. Látható a 3.57. ábrán, hogy ezzel a módszerrel az érintett személyekre történő lebontásról le kell mondanunk.



3.57. ábra – Véges állapotterű megvalósítás

- A tranziens analízishez megfelelő az előzőekben a felépítés során bemutatott háló. Számoljuk a baleseteket, és egy olyan konstrukciót alkalmazunk, ami megakadályozza, hogy végtelen mennyiségű baleset legyen. Kiválasztunk egy akkora értéket, amely felett már nem érdemes gyűjteni a baleseteket – mivel ha ezt túllépné, akkor elért volna egy megengedhetetlenül nagy számot; így következtetésként azonnal levonható, hogy a berendezés kiépítettségén mindenképp változtatni kellene. Ehhez egy közös balesetek „token-gyűjtő” helyet hozunk létre, illetve egy másik helyet, mely kezdeti token-tartalmával a maximális baleset számát határozza meg. Ez a hely minden végső-baleset helybe menő átmenethez hozzá van kötve. Tehát csak úgy következhet be baleset, ha ezen a helyen még van token ld. 3.58. ábra.

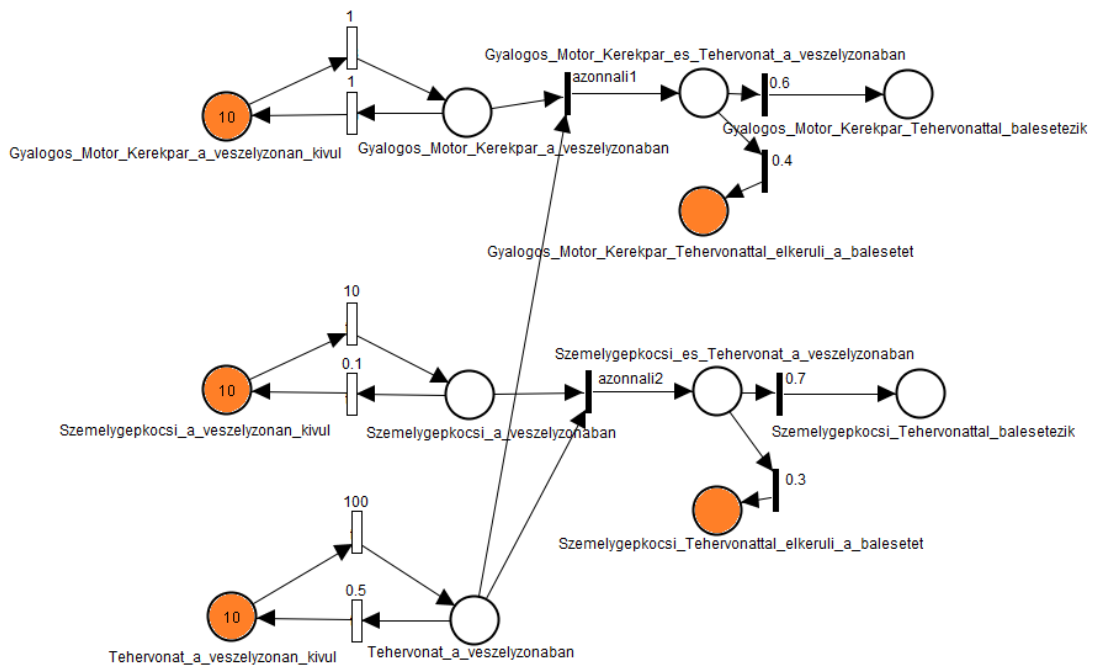


3.58. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás balesetszámlálással

Hasonló eredményt érhetünk el, ha a kezdeti tokeneloszlást módosítjuk a járműjellegeknél. Ld.: az általunk megállapított korlátnak megfelelő mennyiségű token adva a tehervonat veszélyzónájában helyre.

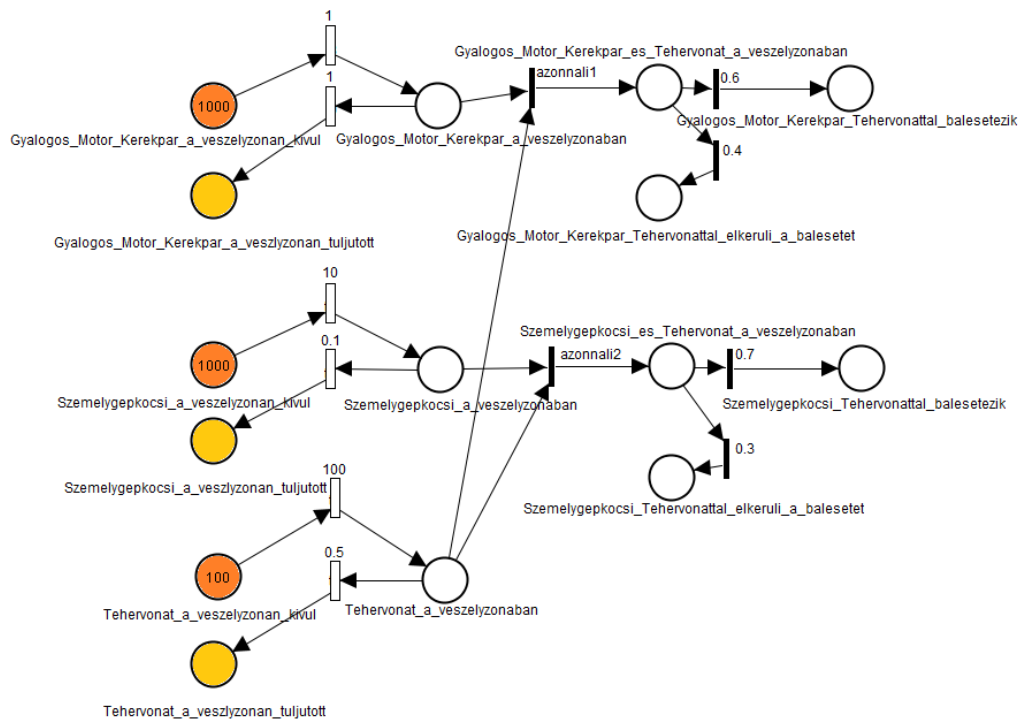
Fontos megjegyezni, hogy a modell számításának bonyolultsága indokoltá teheti, hogy három változatot különböztessünk meg:

- Ha az analízis program képes megbirkózni a 3.3 fejezetben bemutatott modellel, akkor kezdetben elég egy előre meghatározott, alacsony tokenszámot megadni az egyes járműjellegek veszélyzónáján kívüli helyeihez. Mivel meghatározott ideig fogjuk az analízist futtatni, így korlátos számú balesetet várunk; ennek megbecslése után beállíthatunk ennél eggyel/kettővel nagyobb tokenszámot a veszélyzónáján kívüli helyekre. Mivel a nem balesetező járműveket szimbolizáló tokenek biztosan vissza fognak jutni a kiinduló helyekre.
- Abban az esetben, ha a program nem jut eredményre, fel kell vágnunk a balesetet elkerülő járművek kezdeti (veszélyzónáján kívüli) helyre történő visszavezetését oly módon, hogy létrehozunk egy veszélyzóna utáni helyet, ahova ezeket a tokeneket gyűjteni fogjuk (vagy egyszerűen hagyjuk a balesetet elkerült helyekben a tokeneket – ld. 3.59. ábra). Ekkor meg kell becsülnünk a várható balesetek számán túl azt is, hogy hány balesetet elkerült kimenetel lesz (veszélyzónájában jelen volt két jármű, de nem ütköztek).



3.59. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás baleset elkerülés token-gyűjtéssel

- Ha még ez sem jelentene megoldást, akkor minden veszélyzónán kívülre történő visszavezetést meg kell szüntetni (az előzőekben leírt módon visszavezetés helyett egy veszélyzóna utáni helyre vezetjük ki a tokeneket) ld. 3.60. ábra. Ebben az esetben a beállított időintervallumra felül kell becsülnünk minden járműjellemnél az összes átjárón áthaladó jármű számát, és ezt kell kezdeti token-mennyiségnek megadni.



3.60. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás visszavezetés nélkül

4. Esettanulmány

Egy példán végigvezetve szeretném bemutatni a módszer alkalmazását. Mivel látható, hogy az összeillesztett modell igen komplex is lehet; igyekszem csak a minimális, szükséges paraméterek felvételére. Ehhez válasszunk egy olyan fiktív átjárót, ahol a vasút részéről (már) nincsen személyforgalom. Most indult be egy nagyobb gyár a környéken, amely kiszolgálására napi 3 pár tehervonatra van szükség. A pályafenntartó járművek száma elhanyagolható. Közút részről pedig ez egy olyan útszakasz, ahol méret- és súlykorlátozás van, így se teherautó, se busz nem hajthat be.

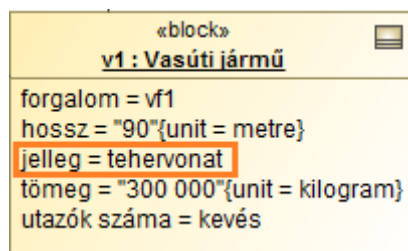
Arra vagyunk tehát kíváncsiak, hogy a jelenlegi megnövekedett vasúti forgalom milyen sorompóberendezés felszerelését teszi szükségessé.

4.1. Környezeti modell – adatokkal

4.1.1. Vasúti paraméterek

Jármű jellege

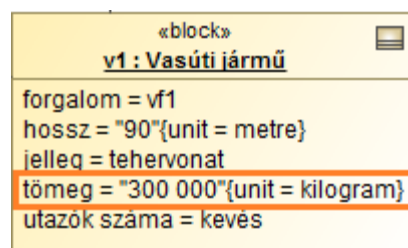
Mint említettem olyan átjárót vizsgálunk, ahol csak tehervonat jellegű szerelvények használják a vasútvonalat. (Ld. 4.1. ábra.)



4.1. ábra – Példánymodell: vasúti jármű jellege

Jármű tömege

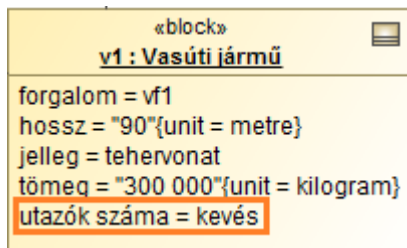
Rövidebb tehervonatok fordulnak csak elő. Átlagban 300 000kg tömegűek (a mozdony átlagosan 60 tonnás, leggyakrabban 6 kocsi húz, a kocsik átlagos súlya pedig 40t). (Ld. 4.2. ábra.)



4.2. ábra – Példánymodell: vasúti jármű tömege

Utazó személyek száma

Az erre közlekedő tehervonatokon a mozdonyvezető mellett ritkán teljesít más szolgáltatást. Vagyis az utazó személyek száma általában 1. (Ld. 4.3. ábra.)

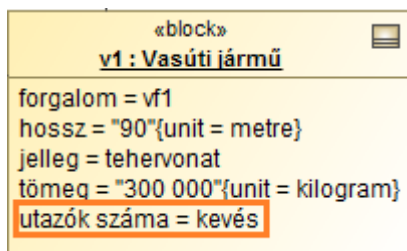


4.3. ábra – Példánymodell: vasúti járművön utazók száma

Jármű hossza

A 6 kocsis tehervonatok átlagos hossza $12\text{m} + 6 \cdot 13\text{m} = 90\text{m}$.

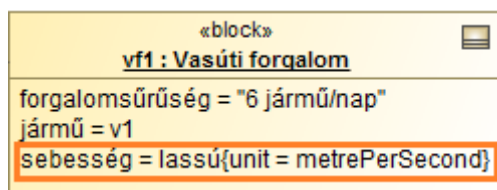
Ehhez kell majd hozzászámolni a közúti sávok szélességét, az jelen esetben 3m és 1-1 sáv van irányonként. (Ld. 4.4. ábra.)



4.4. ábra – Példánymodell: vasúti jármű hossza

Forgalom sebessége

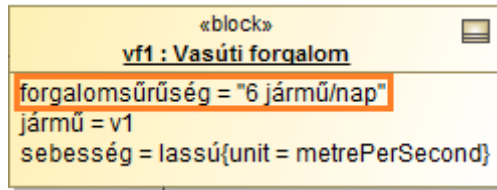
A pályán 40 km/h-s sebesség van az adott szakaszon engedélyezve. (Ld. 4.5. ábra.)



4.5. ábra – Példánymodell: vasúti forgalom sebessége

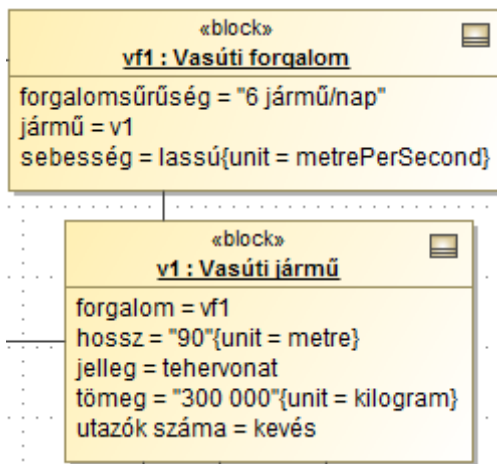
Forgalom sűrűsége

Napi 6 vonat halad keresztül az átjárón. (Ld. 4.6. ábra.)



4.6. ábra – Példánymodell: vasúti forgalom sűrűsége

Összességében, mivel a paraméterek mindenhol egy értéket vehetnek csak fel, elegendő egyetlen ennek megfelelő példányt létrehozni. (Ld. 4.7. ábra.)



4.7. ábra – Példánymodell: vasúti részmodell

Származtatott paraméterek

A forgalomsűrűségből a kiszámolhatóak a várható követési idők. Ezt a következő, 4.1. táblázat tartalmazza:

4.1. táblázat – Követési idők – vasúton

forgalomsűrűség	
jármű/nap	6
jármű/óra	0,25
jármű/perc	0,004166667
jármű/másodperc	6,94444E-05
követés:	
nap	0,166666667
óra	4
perc	240
másodperc	14400

(Egységes mérőszámnak a percet választjuk.)

A jármű hosszokból (kiegészítve az átjáró-szélességekkel) és sebességekből pedig ki-számolható, hogy mennyi idő alatt halad keresztül egy jármű a veszélyzónán.

A vasútra nézve a 4.2. táblázat mutatja az értékeket:

4.2. táblázat – Áthaladási idők – vasúton

átjáró szélesség (2 sáv) [m]:	6
jármű sebesség [km/h]:	40
jármű sebesség [m/s]:	11,11111111
jármű hossz [m]:	90
átjáróban töltött idő [s]:	8,64
átjáróban töltött idő [min]:	0,144

4.1.2. Közúti paraméterek

Jármű jellege

A súly- és méret korlátozás miatt csak személygépjárművek használhatják az utat. Ezen felül persze járhat arra gyalogos, kerékpáros és motoros is. Tehát elég ezt a két kategóriát megjelenítenünk. (Ld. 4.8. ábra.)

«block» k1 : Közúti jármű	«block» k4 : Közúti jármű
forgalom = kf1 hossz = "1,5"{unit = metre} jelleg = gyalogos/kerékpár/motor sebesség = lassu{unit = metrePerSecond} tömeg = "150"{unit = kilogram} utazók száma = kevés vezető = e1	forgalom = kf1 hossz = "4"{unit = metre} jelleg = személygépjármű sebesség = közepes sebességű {unit = metrePerSecond} tömeg = "1200"{unit = kilogram} utazók száma = közepesen sok vezető = e4

4.8. ábra – Példánymodell: közúti jármű jellege

Jármű tömege

Szokásos normál személygépkocsik járnak arra, így kb. 2 000kg a maximális tömeg; átlagosan pedig 1 200kg. A gyalogos/kerékpár/motor kategóriában ez 150kg. (Ld. 4.9. ábra.)

«block» k1 : Közúti jármű	«block» k4 : Közúti jármű
forgalom = kf1 hossz = "1,5"{unit = metre} jelleg = gyalogos/kerékpár/motor sebesség = lassu{unit = metrePerSecond} tömeg = "150"{unit = kilogram} utazók száma = kevés vezető = e1	forgalom = kf1 hossz = "4"{unit = metre} jelleg = személygépjármű sebesség = közepes sebességű {unit = metrePerSecond} tömeg = "1200"{unit = kilogram} utazók száma = közepesen sok vezető = e4

4.9. ábra – Példánymodell: közúti jármű tömege

Utazó személyek száma

1-4 személy kel egyszerre át az átjárón. (Ld. 4.10. ábra.)

«block» k1 : Közúti jármű	«block» k4 : Közúti jármű
forgalom = kf1 hossz = "1,5"{unit = metre} jelleg = gyalogos/kerékpár/motor sebesség = lassú{unit = metrePerSecond} tömeg = "150"{unit = kilogram} utazók száma = kevés vezető = e1	forgalom = kf1 hossz = "4"{unit = metre} jelleg = személygépjármű sebesség = közepes sebességű {unit = metrePerSecond} tömeg = "1200"{unit = kilogram} utazók száma = közepesen sok vezető = e4

4.10. ábra – Példánymodell: közúti járművön utazók száma

Jármű hossza

1-4m az előforduló hossz tartománya (gyalogostól az átlagos személyautóig). (Ld. 4.11. ábra.)

«block» k1 : Közúti jármű	«block» k4 : Közúti jármű
forgalom = kf1 hossz = "1,5"{unit = metre} jelleg = gyalogos/kerékpár/motor sebesség = lassú{unit = metrePerSecond} tömeg = "150"{unit = kilogram} utazók száma = kevés vezető = e1	forgalom = kf1 hossz = "4"{unit = metre} jelleg = személygépjármű sebesség = közepes sebességű {unit = metrePerSecond} tömeg = "1200"{unit = kilogram} utazók száma = közepesen sok vezető = e4

4.11. ábra – Példánymodell: közúti jármű hossza

Szükséges még tudnunk az átjáró szélességét is (a vasútra nézve) a veszélyzónát elhagyás idejének kiszámolásához. Ez itt 3,5m (mivel 1 vágány van).

Forgalom sebessége

A gyalogosok evidensen lassan közlekednek, ám a motorosok elérhetik akár a 90km/h-t is. Az autósok között az óvatosabbak lelassítanak 40km/h környékére, míg mások annál többel hajtanak át (de 90km/h alatt marad a sebesség minden esetben).

Vagyis a gyalogos/kerékpár/motor járműjellegre a korábban rögzített meghatározások alapján a lassú (1-40km/h) és közepes (41-90km/h) sebesség is jellemző, míg a személyautóra csak a közepes. (Ld. 4.12. ábra.)

«block» k1 : Közúti jármű	«block» k4 : Közúti jármű
forgalom = kf1 hossz = "1,5"{unit = metre} jelleg = gyalogos/kerékpár/motor sebesség = lassú{unit = metrePerSecond} tömeg = "150"{unit = kilogram} utazók száma = kevés vezető = e1	forgalom = kf1 hossz = "4"{unit = metre} jelleg = személygépjármű sebesség = közepes sebességű{unit = metrePerSecond} tömeg = "1200"{unit = kilogram} utazók száma = közepesen sok vezető = e4

4.12. ábra – Példánymodell: közúti forgalom sebessége

Forgalom sűrűsége

Napjában átlagosan 1 000 jármű halad keresztül az átjárón. Eloszlását tekintve kb. 600 autó és 400 gyalogos/kerékpáros/motoros. (Ld. 4.13. ábra.)

«block» kf1 : Közúti forgalom
forgalomsűrűség = "1000" jármű = k1, k2, k3, k4 telítettség = telítetlen

4.13. ábra – Példánymodell: közúti forgalom sűrűsége

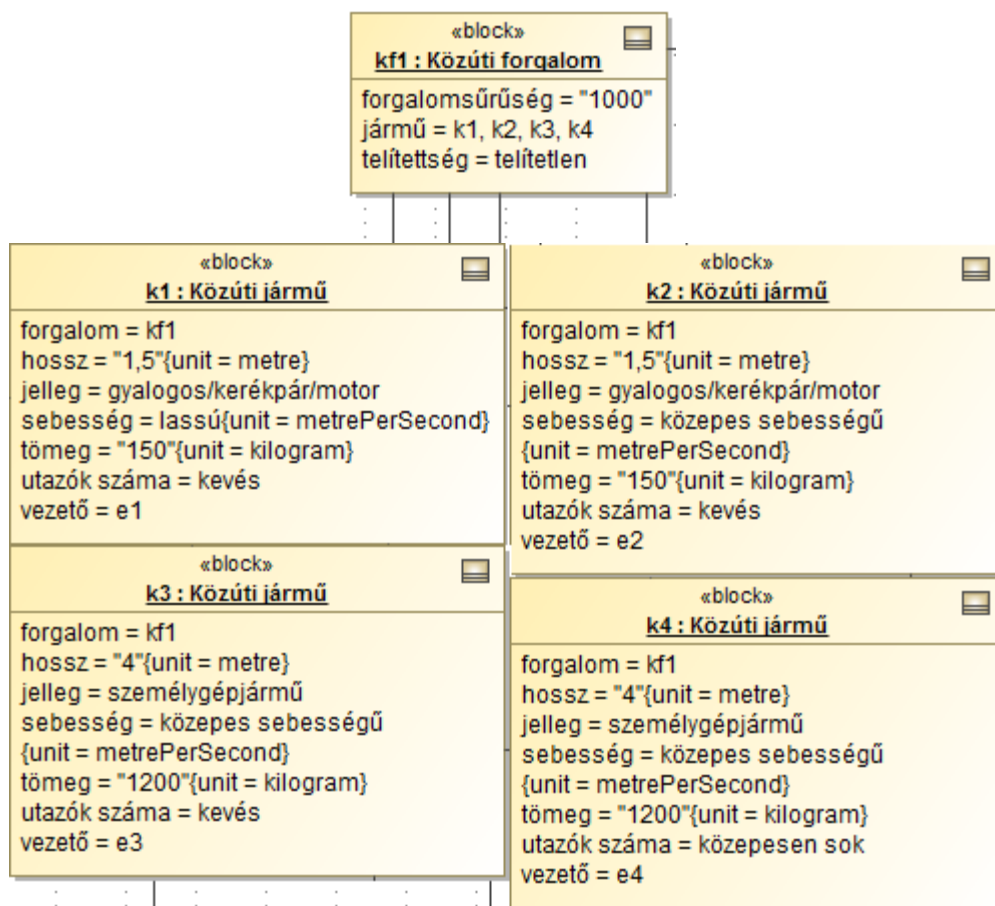
Út telítettsége (kapacitásra nézve)

Az út messze nem üzemel kapacitása maximumán, még csúcsidőben sem. (Ld. 4.14. ábra.)

«block» kf1 : Közúti forgalom
forgalomsűrűség = "1000" jármű = k1, k2, k3, k4 telítettség = telítetlen

4.14. ábra – Példánymodell: út telítettsége

Összességében a több értéket felvehető paraméterek miatt minden lehetséges kombinációból kell egy példányt létrehozni, ezek a következők: (Ld. 4.15. ábra.)



4.15. ábra – Példánymodell: közúti részmodell

Származtatott paraméterek

A forgalomsűrűségből eredeztethető követési időket a 4.3. táblázat mutatja be:

4.3. táblázat – Követési idők – közúton

mértékegység	személyautó	gyalogos/...	összes jármű
jármű/nap	600	400	1000
jármű/óra	25	16,66666667	41,66666667
jármű/perc	0,416666667	0,277777778	0,694444444
jármű/másodperc	0,006944444	0,00462963	0,011574074
követés:			
nap	0,001666667	0,0025	0,001
óra	0,04	0,06	0,024
perc	2,4	3,6	1,44
másodperc	144	216	86,4

A veszélyzónán áthaladás közútra vonatkoztatott számításai (ld. 4.4. táblázat):

4.4. táblázat – Áthaladási idők – közúton

	gyalogos...		személyautó	
átjáró szélesség [m]:	3,5		3,5	
	min	max	min	max
jármű sebesség [km/h]:	1	90	40	90
jármű sebesség [m/s]:	0,2777777778	11,11111111	11,11111111	25
jármű hossz [m]:	1	2	3	4
átjáróban töltött idő [s]:	0,003	19,8	0,26	0,675
átjáróban töltött idő [min]:	0,00675	0,33	0,004333333	0,01125

Minimumot természetesen úgy kapunk, hogy a legkisebb hosszt osztjuk a legnagyobb sebességgel; maximumnál pedig a másik két szélsőértéket használjuk fel.

4.1.3. Környezet fizikai paraméterei

Napszak

A reggeli munkába járás és délután a hazautazás erősebb forgalmat generál, mint a többi időszak. Így megkülönböztethetünk csúcsidejű, és csúcsidőn kívüli forgalmat. (Ld. 4.16. ábra.)

«block» <u>ksz1 : Környezeti szituáció</u>	«block» <u>ksz2 : Környezeti szituáció</u>
időjárás = száraz	időjárás = száraz
közúti forgalom = kf1	közúti forgalom = kf2
napszak = csúcsidő	napszak = csúcsidőn kívül
vasúti forgalom = vf1	vasúti forgalom = vf2

4.16. ábra – Példánymodell: napszak

És mivel a környezeti szituációhoz vannak hozzárendelve a közúti és a vasúti forgalom példányok, így minden eddigi elemet duplikálni kell.

Időjárás, útviszonyok

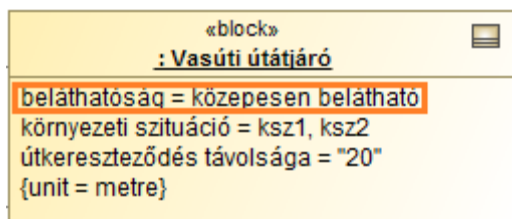
Ekkora forgalom mellett elég megkülönböztetni csak a száraz és a csapadékos/ködös időszakot. (Ám a példa méretének átlátható nagyságban tartása miatt, a paramétert a későbbiekben rögzítetten száraznak tekintjük.) (Ld. 4.17. ábra.)

«block» <u>ksz1 : Környezeti szituáció</u>
időjárás = száraz
közúti forgalom = kf1
napszak = csúcsidő
vasúti forgalom = vf1

4.17. ábra – Példánymodell: időjárás

Beláthatóság (rálátási háromszög)

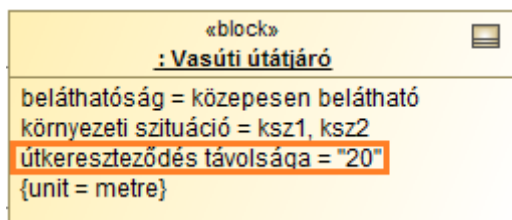
Az átjáró közelében igen sok bokor és fa található, melyek nehezítik a közeledő járműre való rálátást. (Ld. 4.18. ábra.)



4.18. ábra – Példánymodell: beláthatóság

Legközelebbi útkereszteződés távolsága

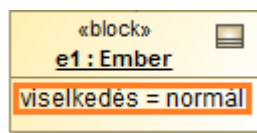
A legközelebbi útkereszteződés 20m-re van az átjárótól, tehát ez nem okozhat veszélyzónában ragadást. (Ld. 4.19. ábra.)



4.19. ábra – Példánymodell: legközelebbi útátjáró távolsága

4.1.4. Emberi tényezők

Közös paraméter alatt választható ki. (Ld. 4.20. ábra.)



4.20. ábra – Példánymodell: emberi tényezők

Figyelmetlenség (fáradtság)

A csúcsidőszakban időnként előfordul figyelmetlenség a fáradtság miatt (reggel az időpont, délután a munka miatt). (Ám most a példánymodell kezelhető méretei miatt csak a normál viselkedésűt ábrázoljuk.)

Türelmetlenség

Nem jellemző, mivel a forgalom csúcsidőben is tud haladni.

Felelőtlenység

Nagyon ritkán talán előfordul egy-két felelőtlen járművezető, de számuk elenyésző.

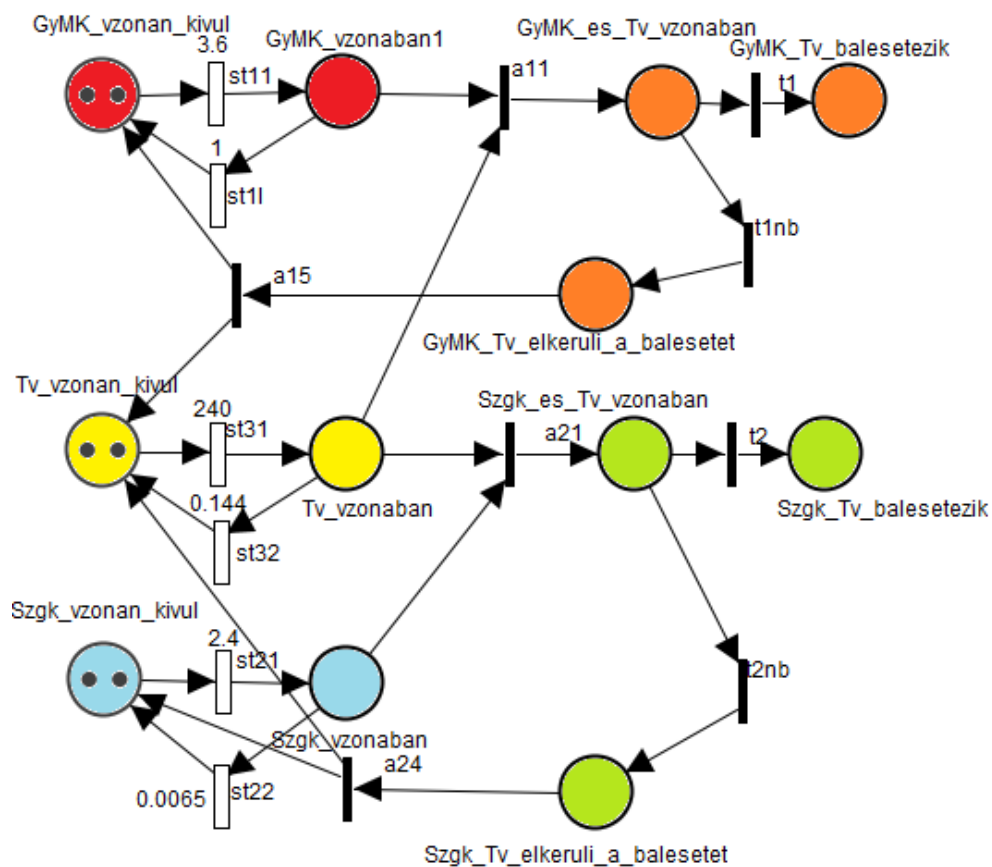
4.1.5. A környezeti példánymodell

A teljes példánymodellt és annak táblázatos formáját a függelék tartalmazza.

4.2. A vasúti útátjáró levezetett modellje adatokkal feltöltve – szintézis

4.2.1. Jármű jellegek felvétele:

Van tehát gyalogos/kerékpáros/motoros jármű, személygépkocsi és tehervonat – ezek összes kombinációját fel kell tüntetni (bármely vasúti jármű találkozhat a veszélyzónában bármely közúti járművel). Az eredmény a 4.21. ábrán látszik – felhívnom a figyelmet, hogy az áttekinthetőség miatt az előzőekkel ellentétben a vasúti jármű középre került!



4.21. ábra – Példamodell: jármű jellegek

A sztochasztikus átmenetek értékeinek számítása a következőképpen történik:

- st11: A forgalomsűrűség alapján meghatározott követési idő kerül ide sztochasztikus késleltetésnek. Mivel ez a gyalogos/kerékpár/motor kategóriára vonatkozik, itt 400 jármű halad keresztül naponta, ez percenként átlagosan 0,277777778 jármű, ennek a reciproka az átlagos járművek között eltelt idő, ami 3,6 perc.
- st11: A jármű hossz, átjáró szélesség és sebesség által meghatározott mennyiség, leírja, várhatóan mennyi idő múlva hagyja el a jármű a veszélyzónát: jelenleg

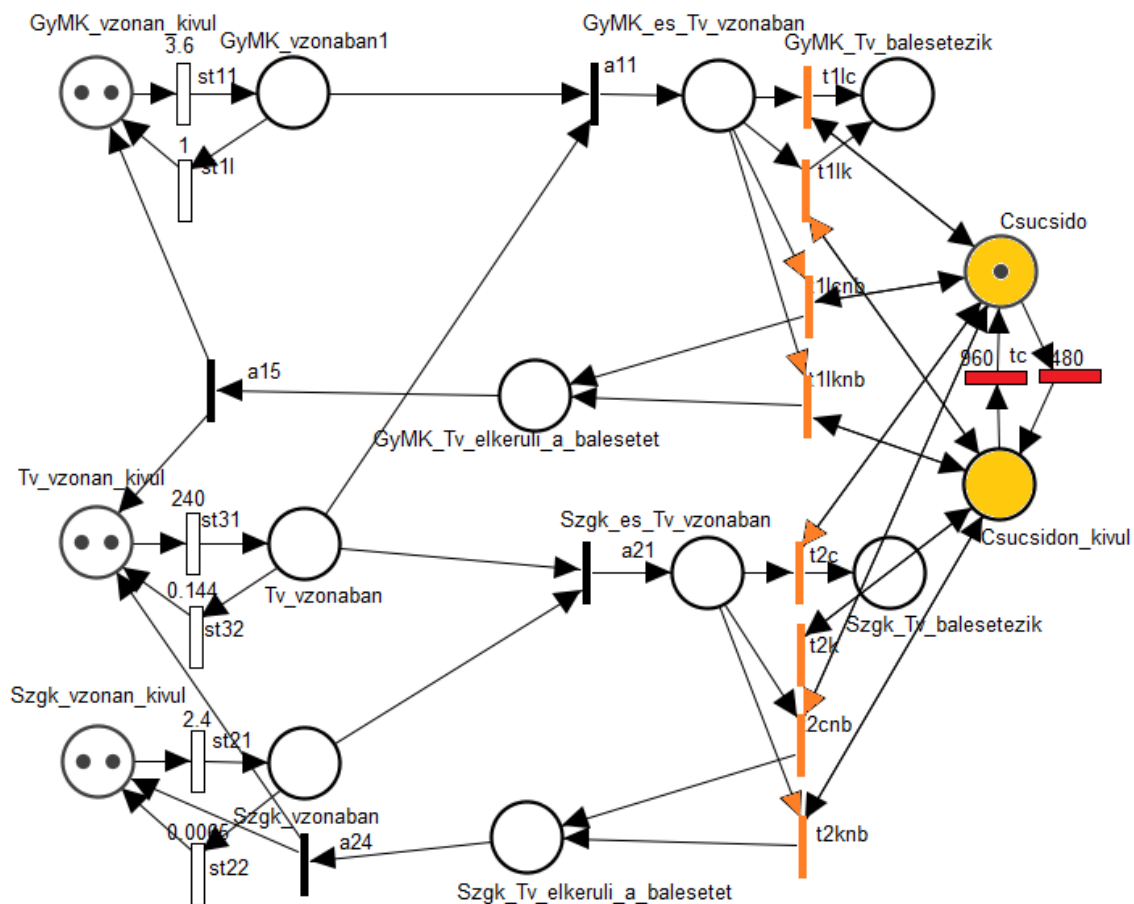
még nem vettük fel a sebességet, mint változó paramétert, amely ezt is befolyásolná, így a beállított átmeneti ráta még nem releváns.

- st21: Az st11-el analóg, csak személyautóra: 600 jármű naponta, percenként átlagosan 0,41666667 jármű; ennek reciproka 2,4 perc.
- st22: Szintén később állítjuk be az értékét.
- st31: Az st11, st21-el azonos számítási módú paraméter: 6 jármű naponta, percenként átlagosan 0,004166667 jármű; ennek reciproka 240 perc.
- st32: Hasonlóan az előzőekhez, később kap értéket.
- t1: Itt a mérések/statisztikák alapján megkapott valószínűségi érték szerepel, amely azt írja le, hogyha gyalogos/kerékpár/motor és tehervonat egyszerre van a veszélyzónában, akkor milyen valószínűséggel következik be baleset.
- t1nb: Az előző valószínűségi komplementere ($1 - \text{előző}$), mivel ez a baleset elkerülését jelenti.
- t2, t2nb: Ugyanaz, mint az előző kettő, csak a személygépkocsi és a tehervonat találkozására vonatkoztatva.

A tokenszámok a következő logika alapján lettek megállapítva: a maximálisan tolerált balesetek számának (2) megfelelően az összes járműjelleg 2 tokent kapott a veszélyzónán kívüli helyére. (A veszélyzónába lépés és onnan kijutás átmenetein kívül a többi mind azonnali átmenet, és ezen átmeneteknél a bejutás iránya lényegesen hosszabb, tehát az idő nagy részében valószínűleg a veszélyzónán kívüli helyen lesz egy token, így elég 2 darab belőle az összes járműtípusnál.)

4.2.2. Napszak bevonása a modellbe:

Következik a csúcs- és nem csúcsidő ábrázolása. Ez a 4.22. ábrán látható:

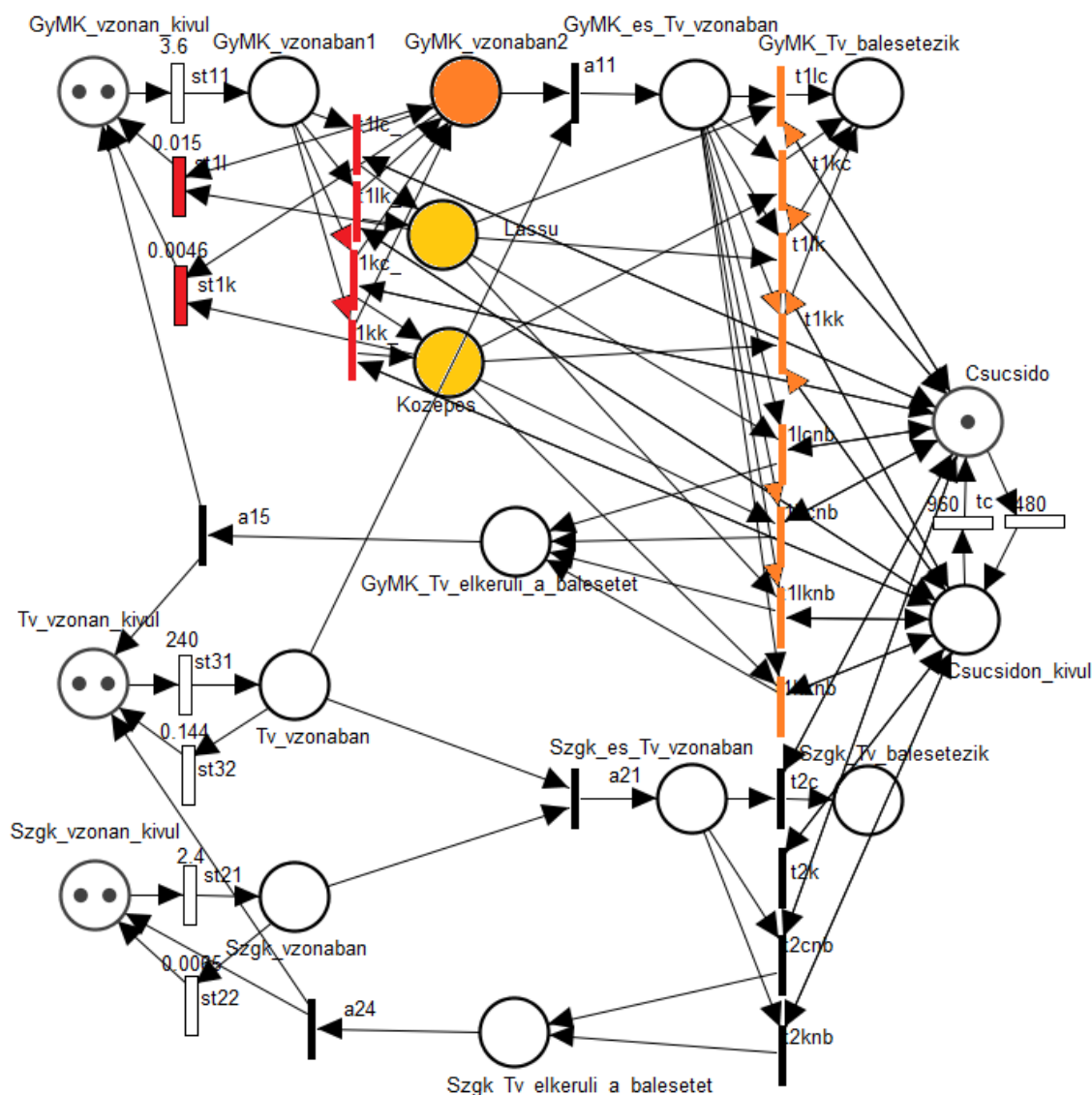


4.22. ábra – Példamodell: napszakkal bővítve

A napszak értelemszerűen megduplázza az átmeneteket a veszélyzónában lévő közúti és vasúti jármű párosok eseteire. Mivel eltérő valószínűségek tartoznak a csúcsidőn belüli és kívüli találkozások kimeneteleihez. (Arra továbbra is figyelni kell, hogy az egy időben engedélyezett átmenetek valószínűségének összege kiadja az 1-et. Ld. pl.: csúcsidőben, ha autó és tehervonat van egyszerre a veszélyzónában, akkor a t2c és t2cnb.)

4.2.3. Forgalom sebessége

Egyedül a gyalogos/kerékpár/motor jelleg képviselteti magát több sebességekategóriában is (lassú és közepes); így a változó sebesség csak ezt a járműtípust fogja érinteni, átmeneteket csak itt dupláz az új tényező, ahogyan ez a 4.23. ábrán is látszik.



4.23. ábra – Példamodell: forgalomsebességgel bővítve

Most már a sebességek is fel vannak tüntetve, így kiszámolhatóak az előbb elodázott st1l, st22, st32 átmenetek (illetve ezek sebességgel szétválasztott végeredményei st1l, st1k). Ha a lassú sebességekategóriánál (0-40km/h) 20km/h a várható érték (az egyszerűség kedvéért vegyük az átlagot, mivel jelenleg nincsenek statisztikáink), a közepesnél (41-90km/h) 65km/h, akkor a következőekben összefoglalt értékek adódnak. A járműhossznál szintén vehetjük a várható értéket (jelen esetben itt is átlagolunk): gyalogos/kerékpár/motor-nál 1,5m, személyautónál 3,5m.

Az áthajtási idők számításait a 4.5. táblázat tartalmazza:

4.5. táblázat – Példamodell: áthajtási idők

	gyalog...		személyautó	tehervonat
átjáró szélesség [m]:	3,5		3,5	6
	lassú	közepes	közepes	közepes
jármű sebesség [km/h]:	20	65	65	40
jármű sebesség [m/s]:	5,5555556	18,05555556	18,05555556	11,111111
jármű hossz [m]:	1,5	1,5	3,5	90
átjáróban töltött idő [s]:	0,9	0,276923077	0,387692308	8,64
átjáróban töltött idő [min]:	0,015	0,004615385	0,006461538	0,144
megfelelő átmenetek:	st1l	st1k	st22	st32

(Az előző ábrán már ezen értékek szerepeltek.)

4.2.4. Időjárás, útviszonyok

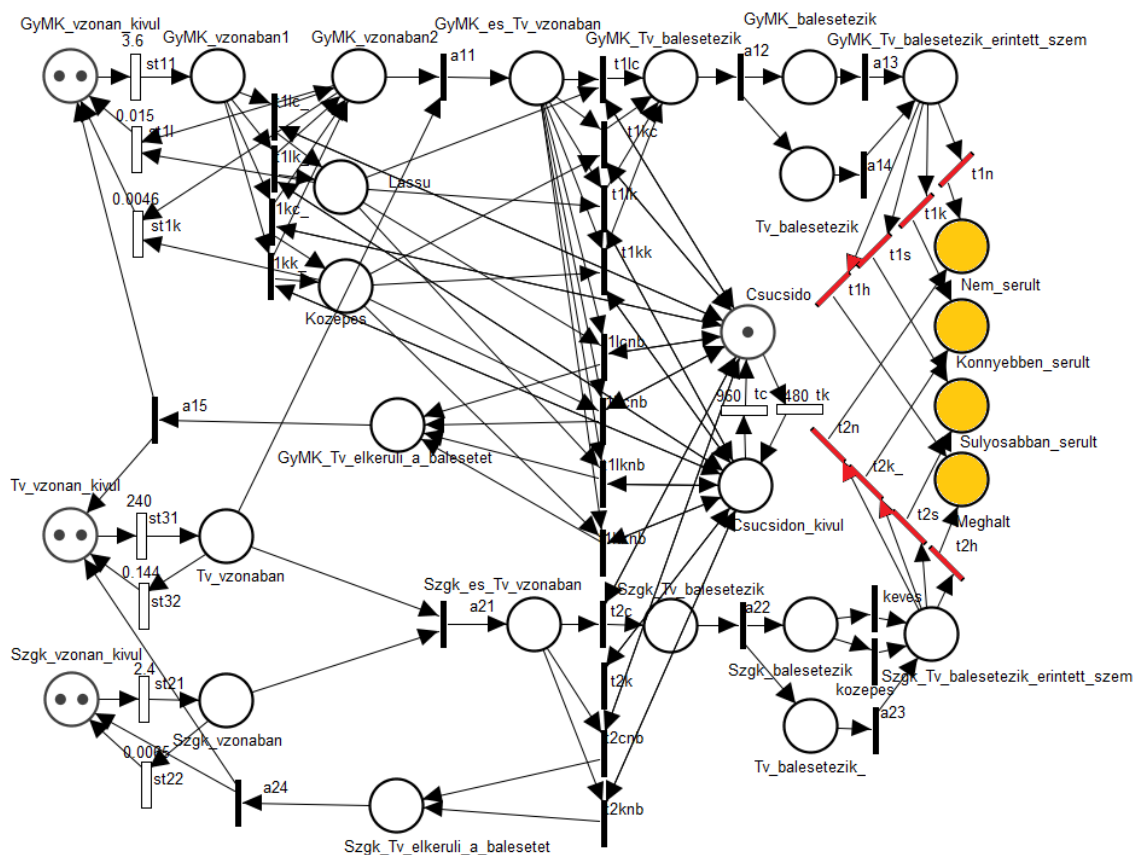
Újabb két hellyel bővül a modell – ez már teljesen átláthatatlan lenne jelen dokumentumban, így a megjelenítésétől eltekintek. Hasonlóan a napszakhoz minden balesetbe és elkerülésbe vezető átmenetet dupláz. (Továbbra is ügyelni kell az egyidejűleg engedélyezett átmenetek valószínűség-párjainak összegére.)

4.2.5. Emberi tulajdonságok

Csak a figyelmetlenség (fáradtság) fordul elő, az is csak csúcsidőben.

Ez a paraméter a csúcsidejű balesetbe, ill. elkerülésbe vivő átmeneteket kettőzi meg az előzőekhez hasonlóan.

Az érdekesség kedvéért, ha mindhárom emberi tulajdonságot akarnánk ábrázolni a napszak és sebesség mellett, az már az átláthatatlanság határát súrolná – ld. 4.24. ábra. Az egyes járműjelleghez köthető tulajdonságok bevezetése egy-egy újabb osztást visz be a modellbe az „egyedül a veszélyzónában” és a „másik járművel együtt a veszélyzónában” hely között.



4.26. ábra – Példamodell: súlyossággal bővítve

4.2.8. További paraméterek

Látszólag az alábbi paraméterek maradtak ki a modellből:

- Jármű tömege: ezt a jellegnél vesszük figyelembe – a jelleg-páronkénti balesetek utolsó helyeitől induló – ahol már megjelenik az érintettek száma –, és a súlyosságba érkező átmenetek valószínűségének eloszlásában kap szerepet (ld.: nagyobb tömegnél valószínűbb a komolyabb sérülés).
- Jármű hossza: veszélyzónát elhagyó átmenetek paraméterének egyik meghatározója (ld. számítás).
- Forgalom sűrűsége: a veszélyzónába menő tranzíciók meghatározója (ld. számítás).
- Beláthatóság (rálátási háromszög): a balesetezés illetve elkerülés paraméterébe szól bele, az ájtáróra nézve fixen.

4.3. Analízis

Most következne a kész modell vizsgálata. Ám használható eszköz híján csak elméleti megfontolásokat írom le.

Az átjáróban bekövetkezendő esetleges baleset kockázatát szeretnénk kiszámolni. Ehhez tranziens analízist végzünk. Választunk egy időintervallumot, amire a vizsgálatot le szeretnénk folytatni. Megszámoltatjuk, ez alatt hány baleset történt. Ha az általunk (vagy a hatóság által) megállapított tolerálható szint alatt marad a baleset kockázata, akkor nem indokolt sorompóberendezés kihelyezése; azonban, ha ezt meghaladja, akkor telepíteni kell egy berendezést. Azt, hogy pontosan milyen kiépítettségben célszerű gondolkodni: a határérték átlépésének mértéke fogja meghatározni. (Ehhez ismernünk kell az egyes kiépítettségi szintek kockázat-csökkentésének mértékét, amelyhez viszont jelenleg kevés statisztika áll rendelkezésünkre.)

5. Összefoglalás

5.1. Értékelés

Jelen dolgozatban felhívtam a figyelmet arra, hogy bizonyos területeken a környezeti tényezőknek jelentős befolyásoló hatása van a vizsgálandó kockázati értékekre. Ilyen esetben a kockázatelemzésnél ezeket a paramétereket is figyelembe kell venni. Megoldásképp bemutattam egy grafikus, formális modellt használó módszert arra vonatkozólag, hogyan lehet a környezetből eredő kockázatra fókuszálva analízist végezni. A módszert a vasúti útátjáró példáján keresztül vezettem végig lépésről lépésre.

Lényegében ez a mű egy nagyobb munka első lépéseit oldotta meg. Meghatároztunk egy környezeti modellt, majd azt, hogy ez hogyan képezhető le formális modellre. A következő fázisban megfelelő megoldót kell találni erre a formális analízismodellre, és természetesen megfelelő számítási teljesítménnyel rendelkező gépet, melyen az analízis lefuttatható. (Ha valamelyik vasúttársaság lát fantáziát a módszerben, akkor ő olyan számítógépeket is ráállíthat, amelyekre nekem nem volt lehetőségem).

Ha elegendő statisztika, illetve mért adat áll rendelkezésünkre, akkor az analízis modell minden egyes paramétere beállíthatóvá válik.

5.1.1. Eredmény

Definiáltunk egy mérnöki modellt, amelyben a szakterületben járatlanok számára is könnyen érthető módon megadható a környezeti modell. Arra az esetre, ha még ezt is bonyolultnak találnák, létrehoztunk egy ezzel egyenértékű táblázatos formát, ahol minden egyes baleseti szituációnak egy sor felel meg. Ezen esetek bekövetkezési valószínűségének végiggondolása után (becslés, vagy statisztikák alapján), a bemutatott leképezés alapján a matematikai modellt automatikusan tudjuk származtatni. Ezen modell segítségével pedig kiszámolható az eredő kockázat valószínűsége. Az eredményül kapott kockázati értéket összehasonlítva a tolerálható értékkel megállapíthatjuk, hogy a sorompóberendezés aktuális kiépítettségi szintje megfelelő-e, vagy annak módosítására volna szükség.

A modell a statisztikák illetve mért értékek alapján könnyedén finomhangolható. Az egyes paraméterek kvantitatív értékeiből kvalitatívakat alakítottunk ki; ezáltal a problémát leegyszerűsödött, és közelebb kerültünk a megoldhatósághoz. Ezen felosztás mértéke ugyanakkor tetszőlegesen finomítható (ld.: napszak reprezentálása csúcsidőbeli és csúcsidőn kívüli helyekkel, illetőleg több időintervallum megkülönböztetése).

A rendelkezésünkre álló eszközök egyikével sem sikerült az elkészült (mértéses) modellt analizálni. A TimeNET már az analízis elején elszáll, a „program működése leállt” Windows hibaüzenet fogad, míg az Oris eszköznél az analízis egyre lassabban fut, és emberi időn belül nem fejeződik be. A továbblépési lehetőségek között emiatt különösen fontos lesz más, akár kereskedelmi eszközöket is kipróbálni.

5.1.2. Alkalmazhatóság

A bemutatott módszer nem kizárólag a vasúti átjárók kockázatelemzésére alkalmas. Használható bármilyen berendezés vizsgálatánál, ahol a környezeti tényezők hatása jelentős lehet. A környezeti modell megalkotása, majd az egyes paraméterek hatásainak vizsgálata után hasonló módon alkotható egy analízis modell, amely segítségével a kívánt kockázati érték meghatározható.

5.2. Tovább lépési lehetőségek

Ezen munka legfontosabb kiegészítése a sztochasztikus analízis eszközök mélyebb áttekintése. Mivel a jelen dolgozatban kidolgozott analízis modellek vizsgálatára komplex algoritmusok szükségesek, ezért könnyen lehet, hogy csak kereskedelmi analízis szoftverekkel oldhatóak meg a problémák.

Fontos lesz továbbá a jövőben nem csak a Magyarországon elérhető adatokat megvizsgálni, hanem a külföldiek is alaposabban áttekinteni. Tudott, hogy külföldön sokkal részletesebb statisztikákat vezetnek, amelyek alapján több irányba is finomítani lehet a bemutatott analízis technikát.

A sikeres analízis után a modell lehetőséget biztosít költségoptimalizáció számítására is. Ehhez a modellt a lehetséges eseményekhez tartozó költségekkel is fel lehetne attributálni, és az elképzelhető konfigurációk költségét is származtatni lehetne.

Köszönetnyilvánítás

Ez úton is szeretném megköszönni a konzulenseim lelkes munkáját. A véget nem érő konzultációkon elhangzó temérdek gondolatot, illetve a minden apró részletre kiterjedő módosítási javaslatokat a dolgozattal kapcsolatban.

Ábrák jegyzéke

3.1. ábra – A módszer lépései	13
3.2. ábra – Vasúti paraméterek	15
3.3. ábra – Saját típus: vasúti jármű jellege	16
3.4. ábra – Saját típus: vasúton utazók száma.....	17
3.5. ábra – Saját típus: vasúti forgalom sebessége.....	18
3.6. ábra – Közúti paraméterek	19
3.7. ábra – Saját típus: közúti jármű jellege.....	20
3.8. ábra – Saját típus: közúton utazók száma	21
3.9. ábra – Saját típus: közúti jármű sebessége.....	22
3.10. ábra – Saját típus: közút telítettsége	23
3.11. ábra – Környezet fizikai paraméterei	23
3.12. ábra – Saját típus: napszak	24
3.13. ábra – Saját típus: időjárás	24
3.14. ábra – Saját típus: beláthatóság.....	24
3.15. ábra – Emberi paraméterek	25
3.16. ábra – Saját típus: viselkedés	25
3.17. ábra – Környezeti metamodell	26
3.18. ábra – Jármű helyzetek – kiindulás.....	27
3.19. ábra – Jármű helyzetek – rossz kiindulás.....	28
3.20. ábra – Jármű helyzetek – két jármű együtt a veszélyzónában	28
3.21. ábra – Jármű helyzetek – járművek találkozásának eredménye	29
3.22. ábra – Jármű helyzetek – komplett ábra	30
3.23. ábra – Jármű jellegek	31
3.24. ábra – Jármű jellegek közös baleseti hellyel.....	32
3.25. ábra – Jármű jellegek később (balesetezés esetén) szétbontva	32
3.26. ábra – Vasúton érintett személyek	34
3.27. ábra – Közúton érintett személyek.....	34
3.28. ábra – Jármű hossz befolyása.....	35
3.29. ábra – Jármű sebesség befolyása	35

3.30. ábra – Jármű sebességek bonyolultan	36
3.31. ábra – Jármű sebességek	36
3.32. ábra – Jármű sebességek sztochasztikusan	37
3.33. ábra – Jármű sebességek időbeliséggel.....	37
3.34. ábra – Jármű sebességek idővel	38
3.35. ábra – Forgalom sűrűség befolyása	38
3.36. ábra – Út telítettség	39
3.37. ábra – Napszakok – 2 hellyel	39
3.38. ábra – Napszakok – 4 hellyel	40
3.39. ábra – Időjárás – 2 hellyel.....	40
3.40. ábra – Időjárás – 4 hellyel.....	40
3.41. ábra – Beláthatóság befolyása.....	41
3.42. ábra – Legközelebbi kereszteződés távolságának befolyása	42
3.43. ábra – Emberi tényezők	42
3.44. ábra – Emberi tényezők alternatíván	43
3.45. ábra – Emberi tényezők járművekhez kötve.....	43
3.46. ábra – Balesetek súlyossága.....	44
3.47. ábra – Járműjellegek ábrázolása	44
3.48. ábra – Járműjellegek ábrázolása egymásra hatásukkal.....	45
3.49. ábra – Időbeliség ábrázolása	46
3.50. ábra – Sebességek ábrázolása	47
3.51. ábra – Sebesség veszélyzónából kilépésre való hatásának ábrázolása	47
3.52. ábra – Időjárás ábrázolása.....	48
3.53. ábra – Telítettség ábrázolása.....	49
3.54. ábra – Emberi tulajdonságok ábrázolása	50
3.55. ábra – Érintett személyek ábrázolása.....	50
3.56. ábra – Súlyosság ábrázolása	51
3.57. ábra – Véges állapotterű megvalósítás.....	52
3.58. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás balesetszámlálással	53
3.59. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás baleset elkerülés token-gyűjtéssel	54
3.60. ábra – Végtelen állapotterű megvalósítás visszavezetés nélkül.....	54
4.1. ábra – Példánymodell: vasúti jármű jellege	55

4.2. ábra – Példánymodell: vasúti jármű tömege	55
4.3. ábra – Példánymodell: vasúti járművön utazók száma	56
4.4. ábra – Példánymodell: vasúti jármű hossza	56
4.5. ábra – Példánymodell: vasúti forgalom sebessége	56
4.6. ábra – Példánymodell: vasúti forgalom sűrűsége	57
4.7. ábra – Példánymodell: vasúti részmodell	57
4.8. ábra – Példánymodell: közúti jármű jellege	58
4.9. ábra – Példánymodell: közúti jármű tömege	58
4.10. ábra – Példánymodell: közúti járművön utazók száma	59
4.11. ábra – Példánymodell: közúti jármű hossza	59
4.12. ábra – Példánymodell: közúti forgalom sebessége	60
4.13. ábra – Példánymodell: közúti forgalom sűrűsége.....	60
4.14. ábra – Példánymodell: út telítettsége	60
4.15. ábra – Példánymodell: közúti részmodell	61
4.16. ábra – Példánymodell: napszak.....	62
4.17. ábra – Példánymodell: időjárás	62
4.18. ábra – Példánymodell: beláthatóság	63
4.19. ábra – Példánymodell: legközelebbi útátjáró távolsága.....	63
4.20. ábra – Példánymodell: emberi tényezők	63
4.21. ábra – Példamodell: jármű jellegek	64
4.22. ábra – Példamodell: napszakkal bővítve.....	66
4.23. ábra – Példamodell: forgalomsebességgel bővítve	67
4.24. ábra – Példamodell-kibővítése emberi tulajdonságokkal	69
4.25. ábra – Példamodell: utazó személyek számával bővítve	70
4.26. ábra – Példamodell: súlyossággal bővítve	71

Táblázatok jegyzéke

3.1. táblázat – Vasúti járművek tömegei.....	16
3.2. táblázat – Vasúti járművön utazók száma.....	17
3.3. táblázat – Vasúti járművek hossza.....	17
3.4. táblázat – Vasúti forgalom sebessége	18
3.5. táblázat – Közúti járművek tömegei	20
3.6. táblázat – Közúti járművön utazók száma	21
3.7. táblázat – Közúti járművek hossza	21
3.8. táblázat – Közúti forgalom sebessége.....	22
4.1. táblázat – Követési idők – vasúton	57
4.2. táblázat – Áthaladási idők – vasúton	58
4.3. táblázat – Követési idők – közúton.....	61
4.4. táblázat – Áthaladási idők – közúton.....	62
4.5. táblázat – Példamodell: áthajtási idők	68

Irodalomjegyzék

- [1] CENELEC, MSZ-EN 50126:2001: *Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, a rendelkezésreállítás, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása*, 2001
- [2] CENELEC, MSZ-EN 50128:2001: *Vasúti alkalmazások. Távközlési, biztosítóberendezési és adatfeldolgozó rendszerek. Szoftverek vasúti vezérlő- és ellenőrző rendszerekhez*, 2001
- [3] CENELEC, MSZ-EN 50129:2003: *Vasúti alkalmazások. Távközlési, biztosítóberendezési és adatfeldolgozó rendszerek. Biztonsági elektronikai rendszerek biztosítóberendezésekhez*, 2001
- [4] Szloboda István, *Vasúti útátjárót fedező biztosítóberendezés SysML alapú tervezése*, Szakdolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Villamosmérnöki és Informatikai Kar - Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék, 2012
- [5] Murata, T., *Petri nets: Properties, analysis and applications*, Proceedings of the IEEE , vol.77, no.4, pp.541,580, Apr 1989
- [6] Object Management Group, *OMG Systems Modeling Language*, 2012, v 1.3. <http://www.sysml.org/docs/specs/OMGSysML-v1.3-12-06-02.pdf>
- [7] Tim Weilliens, *Systems Engineering with SysML/UML - Modeling, Analysis, Design*, Morgan Kaufmann OMG Press, 2007
- [8] Sanford Friedenthal and Alan Moore and Rick Steiner, *A Practical Guide to SysML*, Morgan Kaufmann OMG Press, 2008
- [9] Európai Bizottság, 352/2009 ek rendelet, Április 2009.
- [10] Dragan Jovicic Thierry Breyne, *A kockázatelemzésre és -értékelésre vonatkozó közös biztonsági módszer (csm)*.
- [11] Európai Bizottság, 02/2013/eu végrehajtási rendelet, Április 2013.
- [12] Malika Medjoudj, Pascal Yim, *Extraction of Critical Scenarios in a Railway Level Crossing Control System*, International Journal of Computers, Communications & Control Vol. II, 2007
- [13] Siti Zaharah, I., Yue, W.L. and Somenahalli, S.V.C, *Petri Nets Approach in Assessing the Safety at Level Crossing—The Effect of Traffic and Train Characteristics on Safety Measurement*, University of South Australia
- [14] Siti Zaharah, I., Yue, W.L. and Somenahalli, S.V.C, *Level Crossing Modelling Using Petri Nets Approach and II-Tool*, Asian Transport Studies, Volume 1, Issue 2, 2010

- [15] Ing. Roman Slovák, *Methodische Modellierung und Analyse von Sicherungssystemen des Eisenbahnverkehrs*, Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 2006

Függelék

A bemutatott példa környezeti példánymodellje (kettévágott ábra).

