

Állomási főjelzők kialakításának és jelzési képeinek szisztematikus meghatározása

Farkas Balázs* Dr. Bartha Tamás**

***Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Stoczek u. 2. (e-mail: farkas.balazs@kjk.bme.hu).*

****Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Stoczek u. 2. (e-mail: bartha.tamas@kjk.bme.hu).*

Absztrakt: A biztosítóberendezések a vasúti közlekedés hatékony és biztonságos lebonyolításáért felelős műszaki eszközök. A különböző gyártók generikus termékeit a specifikus alkalmazásban az egyes állomási topológiákra adaptálni kell, ezt a folyamatot nevezik a biztosítóberendezési tervek elkészítésének. A tervezést különböző eszközök támogatják, azonban a végeredmény ellenőrzése jellemzően manuálisan történik, ezért az emberi hibázás lehetősége nagy. Kutatási célunk egy szisztematikus verifikációs módszertan kidolgozása. Ehhez a tervezési folyamatot lépésekre bontottuk, melyek közül cikkünkben az állomási főjelzők jelzési képeinek meghatározását mutatjuk be. Az állomási topológiát felosztottuk objektumokra, melyeket sebesség és hosszúság paraméterekkel láttunk el, majd a beállítható vágányutak ismeretében meghatároztuk a vágányutak sebességét és hosszát. Ezek alapján elvégeztük a startjelzők fő-, majd előjelző részének, illetve az optikakiosztásának meghatározását. A definiált folyamatokat egy esettanulmány segítségével szemléltettük.

1. BEVEZETÉS

A vasúti közlekedés hatékony és biztonságos lebonyolításáért felelős műszaki eszközöket összefoglaló néven vasúti biztosítóberendezésnek nevezik. Ezen berendezések feladata a vasúti közlekedés veszélyeiből eredő kockázatok mérséklése. Ezt elsősorban úgy érik el, hogy egy adott vonatmenetet csak akkor engedélyezhetnek (egy jelzőt csak állíthatnak szabadra), ha a biztonságos leközlekedéséhez szükséges feltételek teljesülnek (pl. a váltók megfelelő állásban állnak és le vannak zárva, más jármű nem veszélyezteti a menet leközlekedését, stb.). Ezeket a függőségeket a vasútállomások területén vágányutak révén szavatolják a biztosítóberendezések.

A gyártók állomási biztosítóberendezési képesek az alapvető funkcionalitás ellátására (pl. váltók, jelzők állítása), azonban szükséges a generikus berendezés specifikus alkalmazásra való adaptálása. Ezt nevezik egy adott állomás biztosítóberendezési tervei elkészítésének. Ezekben a tervekben kerülnek rögzítésre az aktuális helyszínrajztól, vágánygeometriától függő adottságok.

Az állomási vágányutak és a hozzájuk kapcsolódó helyszínspecifikus függőségek meghatározása a biztosítóberendezési tervezők feladata. A biztosítóberendezési előtervek grafikus vagy táblázatos formában tartalmazzák a vágányutakat és a hozzájuk kapcsolódó függőségeket, illetve egy torzított helyszínrajz és jelzőkitűzési terv szemlélteti az alkalmazni kívánt jelzőket, kitérőket, foglaltságérzékelési szakaszok határát, stb. A táblázatos függőségi tervek közül a menetterv tartalmazza az egyszerre beállítható és nem beállítható vágányutak mellett a vágányutak startjelzőinek lehetséges jelzési képeit is.

Mint korábbi publikációinkban (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022), (Boldis *et al.* 2019a) és (Boldis *et al.* 2019b) bemutattuk, hogy bár a tervezési folyamatot különböző

eszközökkel támogatni lehet, ezek többnyire nem minősítettek, illetve a tervek ellenőrzése is jellemzően manuálisan, szakértői átnézéssel történik. Emiatt az emberi hibázás lehetősége nagy, a vétett hibák nehezen szűrhetők ki.

Kutatásunk célja, hogy a biztosítóberendezési terveket készítő mérnökök számára az ilyen módon elkészített tervek ellenőrzésére egy szisztematikus verifikációs módszertant dolgozzunk ki. Az általunk javasolt módszertan segítségével – figyelembe véve a szükséges korlátozásokat és megkorlátozásokat – lehetőséget teremtünk az elkészített tervek megfelelőségének teljeskörű vizsgálatára. Célunk, hogy a hatékonyabb tervellenőrzés elősegítése érdekében a módszertan egyes lépéseit automatizált formában is elérhetővé tegyük.

A vasúti biztosítóberendezések tervezése egy jól meghatározott folyamat lépéseiként hajtható végre. Kutatásunk során felismertük, hogy a tervezés során megoldandó feladatok egymásra épülnek, azonban a legtöbb lépés egymástól függetlenül is kezelhető. A biztosítóberendezések tervezési folyamata során az alábbi részfeladatokat azonosítottuk:

1. a bejárandó vágányutak (a járművek mozgására ténylegesen felhasznált útvonalak) felismerése (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022),
2. oldalvédelem keresése (a vágányutak elágazási pontjainak védelme más járművekkel való ütközés elkerülése érdekében),
3. megcsúszások kezelése (a célpont mögötti meghatározott hosszúságú vágányszakaszok lefoglalása arra az esetre, ha egy menet nem tudna megállni a célpont előtt),
4. startjelző jelzési képeinek meghatározása,

5. vágányúti optimalizálások a hatékony forgalom-bonyolítás érdekében:
 - a. alap- és kerülővágányutak kiválasztása (Boldis *et al.* 2019a),
 - b. megcsúsztatások optimalizálása (Boldis *et al.* 2019b),
 - c. egyéb optimalizálási célok.

Jelen írásunkban a vágányutak startjelzőihez kapcsolódó tervezési feladatokkal foglalkozunk. Ez a lépés jelentősen épít az 1. pont eredményeire, az ott meghatározott vágányúti lista képezi bemenetét. Ebben a lépésben két terv elkészítéséhez szükséges információkat határozzuk meg, az alábbiak szerint:

1. Az egyes vágányutak startjelzői által az adott vágányútra adható jelzési képek meghatározása. Jellemzően a menetterv utolsó oszlopaiban, vágányutanként megadva.
2. Az egyes állomási jelzők optikaelrendezésének meghatározása. Az adható jelzési képektől függően kell alkalmazni különböző színű lámpafejeket és indikátorokat. A jelzők optikakiosztását a jelző-kitűzési terven tüntetik fel.

Jelen cikk a tervezési feladatok algoritmusait mutatja be, ezek képezhetik a későbbiekben a megoldást végrehajtó formális modellek alapját.

Írásunkat a 2. fejezetben a kapcsolódó kutatási eredmények összefoglalásával folytatjuk. Ezután a 3. fejezetben ismertetjük a kutatás elméleti hátterét, röviden bemutatjuk a hazai jelzési rendszert és a jelzési képek, illetve főjelzők optikakiosztásának meghatározását. A 4. fejezetben bemutatunk egy esettanulmányt, amely segítségével szemléltetjük definiált módszereket. Az 5. fejezetben az eredmények felhasználását mutatjuk be. Végül az 6. fejezetben összefoglaljuk a kutatás során megszerzett tapasztalatokat és a lehetséges további kutatási irányokat.

2. KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Ahogy előző cikkeinkben (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022) utaltunk rá, több kutatás foglalkozik a vasúti infrastruktúra, illetve a vasúti biztosítóberendezések működésének modellezésével. A biztosítóberendezési tervek verifikációja kevésbé szerepel kutatások fókuszában.

A formális módszerek alkalmazásáról a vasúti biztosítóberendezések területén közöl összefoglaló megállapításokat (Fantechi *et al.* 2013). A modellezett állomás méretének függvényében mutatja be az alkalmazás korlátait (Ferrari *et al.* 2011). Egy áttekintést és összehasonlítást ad az alkalmazható eszközökről (Ferrari *et al.* 2021).

Formális módszerek alkalmazásával mutatja be biztosítóberendezések működésének, illetve táblázatos terveinek ellenőrzését (James *et al.* 2014) és (Kanso *et al.* 2009), azonban a jelzési képeket csak jelentősen egyszerűsített formában (zöld/vörös) modellezzik.

Ugyancsak egyszerűbb formában kezeli a jelzőket, azonban a jelzési rendszer egyszerűsége alapján (Celebi és Kaymakci 2016) és (Vanit-Anunchai 2018). Mindkét cikkben három különböző jelzési képet különböztetnek meg (zöld/sárga/vörös), tehát a jelzők már előjelzést adnak, azonban külön sebességfokozatokat nem jeleznek ki.

Összetettebb jelzési rendszer és jelzőkialakítás alapján automatikus táblázatos formátumú tervek generálását mutatja be (Yıldırım *et al.* 2012) és (Mutlu *et al.* 2013). A biztosítóberendezési függőségek formalizált leírását szintén teljesértékű módon, a holland jelzési rendszer és a kijelvezhető sebességek figyelembevételével mutatja be, illetve hasonlítja össze a táblázatos és geográfikus formátumú tervek kifejezőerejével (Bosschaart *et al.* 2014).

Összességében megállapítható, hogy a legtöbb biztosítóberendezési funkcionalitás, illetve tervek modellezésére vagy verifikálásra irányuló cikk a vasúti jelzőket elhanyagolás vagy a jelzési rendszer kevésbé összetett volta miatt egyszerűsített formában modellezi. Azok a cikkek, melyek olyan jelzési rendszerrel foglalkoznak, ami háromnál több jelzési fogalom kijelzésére alkalmas, jellemzően a jelen kutatásban bemutatott elvekhez hasonlóan határozzák meg az előjelzést, illetve az optikakiosztást. Azonban egyik cikknek sem a jelzőkialakítások, illetve jelzési képek meghatározása a fő témája, ezért azt a jelen cikkben bemutatotthoz képest kevésbé komplexen kezelik.

3. ELMÉLETI HÁTTÉR

3.1 Vasúti jelzők és feladatuk

A vasúti közlekedés szabályozását alapvetően a vasúti jelzők látják el. Alakjelzőknek nevezik korábbi, mechanikus kiviteleiket; ezek nappal jellemzően tárcsák, karok segítségével, éjszaka vagy rossz látási viszonyok esetén lámpákkal adtak jelzéseket. A modernebb kivitelű fényjelzők már nappal és éjszaka egyaránt kizárólag különböző színű és alakú lámpákkal, azok pozíciójával vagy villogtatásával, illetve különböző kiegészítő lámpasorok vagy fénypontmátrixok (úgynevezett indikátorok) segítségével adnak jelzéseket.

A vasúti közlekedés sajátosságaiból adódóan különböző funkcionalitással bíró jelzőket alkalmaznak:

- főjelző,
- előjelző,
- ismétlőjelző,
- tolatásjelző.

Egy vonatmenet leközlekedését, vagyis a beállított vágányút felhasználását a főjelzők engedélyezik. Az állomásra behaladást a bejárat jelzők, az onnan való kihaladást pedig a kijárat jelzők szabályozzák. A főjelzők feladata a menetengedélyezesen túl a vonatonál alkalmazható legnagyobb sebesség kijelzése is.

A vasúti közlekedésben a fém sínen gördülő fém kerék ellenállása rendkívül kicsi, ezért van lehetőség nagy tömegeket kis energiabefektetéssel, hatékonyan szállítani. Ezen kis tapadási tényező miatt azonban a vasúti járművek fékútja jelentősen hosszabb a közúti járművékéhez képest, akár a kilométeres nagyságrendet is elérheti. Ez a távolság viszont már nem belátható, ezért a főjelzők előtt legalább fékúttávolságban előjelzést kell adni annak érdekében, hogy a járművezető a fékezést időben megkezdhesse, és a főjelző előtt meg tudjon állni (vagy a járművek sebességét kellő mértékben tudja csökkenteni). Az előjelzők tehát nem látnak el menetengedélyezési feladatot.

A vasúti közlekedésben előfordul olyan eset, hogy két főjelző egymástól vett távolsága körülbelül megegyezik a fékúttal. Ebben az esetben a főjelzők is felruházzhatók előjelző funkcióval, azaz az általuk adott jelzési fogalom egyrészt menetengedély és jelenti a jelzőt követő szakaszokon alkalmazható sebességet, másrészt utal a következő főjelző jelzésére is. A Magyarországon alkalmazott jelzési rendszer is ilyen kombinált rendszer.

A főjelzők folyamatos megfigyelhetőségét bizonyos távolságban előttük szintén biztosítani kell a jelzési kép értelmezhetősége érdekében. Ha ez valamilyen adottság miatt (pl. ívviszonyok, felsővezeték tartó oszlopok, stb.) mégsem kivitelezhető, ezen távolság áthidalására ismételőjelzőket alkalmaznak. Ezek a jelzők egyszerűsített jelzésekkel utalnak a közelített jelző által adott jelzésre.

Az eddig felsorolt jelzők a vonatmenetek lebonyolításában vesznek részt. A vasútüzemben megkülönböztetünk tolatómeneteket, melyek elsődleges feladata a kocsirendezés, vontatójárművű átállítása a szerelvény másik végére, stb. Ezeket a mozgásokat a tolatásjelzők szabályozzák és jellemzően állomások területére koncentrálnak.

3.2 Főjelzők jelzési képei a hazai jelzési rendszerben

Cikkünkben a magyarországi jelzési rendszerben (MÁV 2008), (Czére 1977) üzemelő állomási főjelzőkkel foglalkozunk, melyek jelzései ki vannak egészítve előjelzés információval is. A módszertan a különbségek figyelembevételével más országok eltérő jelzési rendszereihez is igazítható.

A főjelzés és előjelzés értelemmel bíró részek egymástól függetlenül kezelhetők. A főjelző rész feladata a jelző mellett való elhaladás sebességének meghatározása. A kijelzendő sebesség függ:

1. A jelző mögött található pályaelemek geometriai kialakításától, a rajtuk alkalmazható sebességtől. Ezt alapvetően a kitérő állásban érintett kitérők miatt alkalmazandó sebességsökkentés határozza meg.
2. A következő főjelző távolságától. Ha a két jelző között nincs meg az általános fékúttávolság, akkor a második jelző továbbhaladást tiltó vagy azt csak csökkentett sebességgel engedélyező jelzése esetén az első jelzőt is csak csökkentett sebességgel szabad meghaladni.

3. A jelzőt megelőző és követő szakaszok sebességének viszonyától. A közbelső sebességértékek abszolút sebességeket jeleznek ki, a $v_{\max}$ fogalom viszont egy relatív érték. Ha a kitérőben érintett váltók sebessége megegyezik a pályasebességgel, akkor a főjelzőnek nem szükséges azt az értéket külön sebességfokozatként kijelezni. Például ha egy-egy vasútvonalon az alkalmazható sebesség 120 km/h, illetve 80 km/h, és a vizsgált vágányútban lévő kitérők 80 km/h sebességgel járhatók, előbbi esetben 80 km/h-t, utóbbi esetben viszont $v_{\max}$ sebességértéket kell kijelezni.

A cikkünkben bemutatott algoritmusok csak az első két szempont alapján határozzák meg a jelzési képeket. A jelenlegi tervezési gyakorlatban a harmadik szempontból adódó speciális helyszínrajzi esetekre nincs egységes tervezési előírás, az alkalmazott megoldás egyedi tervezői/ jóváhagyói megállapodástól függ. Amennyiben születik egy minden ilyen esetet lefedő egységes előírás, azt az algoritmusba is be lehet építeni.

Az adott főjelző által előjelzendő sebesség az összes olyan főjelző sebessége, amihez a vizsgált jelzőtől vágányút vezet. Bejárat jelző esetén jellemzően ezek a kijárat jelzők, míg kijárat jelzők esetén a következő, vonali jelzők (pl. térközjelzők).

A hazai főjelzők jelzési képeiről egy áttekintést ad az 1. ábra. (Magyarázat: Z: zöld, S1: sárga 1 vagy felső sárga, S2: sárga 2 vagy alsó sárga, V: vörös, Zi: zöld indikátor, vill: villogó fény.) Egy további kiegészítő jelzés, ami nem szerepel az ábrán a (függőleges) sárga indikátor (Si), amit csak nagyon rövid vágányutak esetén alkalmaznak 20 km/h sebesség értelemben, rá előjelzést pedig mint Megállj! jelzésre adnak.

Fogalom		Fény
Előjelzést adó fények	$v_{\max}$	Z
	80 km/h	Z _{vill}
	40 km/h	S1 _{vill}
	Megállj!	S1
Főjelzést adó fények	$v_{\max}$	nem ég
	80 km/h	S2 Zi
	40 km/h	S2
	Megállj!	V

1. ábra. Főjelző jelzési képei által meghatározott sebességértékek

3.3 Csökkentett sebességű főjelzés a jelzőtávolság függvényében

A vasúti közlekedésben maximális sebességtől és vonalkategóriától függően meghatározzák a vasútvonalak általános fékúttávolságát (400 m, 700 m vagy 1000 m). (GKM 2003). Ezen a távolságon belül a legrosszabbul megfékezett vonatnak a legnagyobb lejtésű pályaszakaszon is meg kell tudnia állni. Alapértelmezetten ezt a távolságot kell legalább biztosítani főjelző és előjelzője között is.

Bizonyos esetekben az általános fékúttávolság helyett lehetőség van a tényleges fékúttávolság használatára is. Ez az érték az általános fékúttávolságnál kisebb, és akkor lehet figyelembe venni, ha a mértékadó adó lejtő helyett annál kisebb lejtő vagy emelkedő található a vizsgált szakaszon. A kedvezőbb pályaviszonyok miatt a mértékadó lejtőre megfékezett szerelvény rövidebb fékúton is képes lesz megállni.

Amennyiben két főjelző távolsága az általános (vagy a tényleges) fékúttávolságnál kisebb, ezen távolság és a második jelző jelzési képeinek függvényében a megelőző jelző is csak csökkentett sebességgel haladhat meg az alábbiak szerint:

- Megállj! jelzés esetén, ha a két jelző távolsága
 - a fékútnál kisebb, de α -nál nagyobb vagy egyenlő, akkor legfeljebb 40 km/h-val
 - α -nál kisebb, akkor legfeljebb 20 km/h-val
- Szabad, legfeljebb 40 km/h-val jelzés esetén, ha a két jelző távolsága β -nál kisebb, akkor legfeljebb 40 km/h-val.

Két főjelző távolságának minden esetben legalább 200 m-nek kell lennie. A két közbenső érték, α és β meghatározása a MÁV által előírt elvek szerint történik. Az általános fékúttávolság azon részét, mely a 40 km/h sebességről megállásig fékezéshez szükséges α -val, míg a $v_{\max}$ sebességről 40 km/h-ig fékezéshez szükséges távolságot β -val jelöljük.

A két főjelző közötti minimális távolságot növelni kell a jelfeladáshoz szükséges hosszokkal. Ezen távolságértékek a pályából vett jelek fedélzeti berendezés általi érzékeléséhez és feldolgozásához szükséges időből adódnak. Jelen cikkünkben a jelfeladáshoz szükséges hosszok figyelembe vétele nélkül, csak az általános fékúttávolsággal, illetve α és β távolságokkal számoltunk.

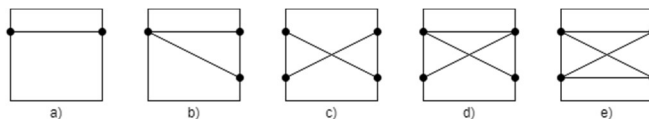
4. MÓDSZERTAN

A tervezési folyamat bemenete az állomási vágányhálózat (helyszínrajz vagy topológia) a kitérőkkel, vágányszakaszokkal és jelzőkkel. Az állomási topológiát felépítő építőkövek a vágányhálózatban betöltött szerepük, funkcionalitásuk alapján típus objektumokként modellezhetők. A vágányhálózatot (jellemzően a foglaltságérzékelési szakaszok határán) felbontjuk ezekre az objektumra. Ezeket a tényleges helyszínrajznak megfelelően paraméterekkel ruházzuk fel, majd a paraméterek és a topológiában való

elhelyezkedésük alapján végrehajtjuk az aktuális tervezési feladatot.

A módszertan a (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022) cikkekben bemutatott elveken alapul. Meghatároztuk azokat az alapvető objektumtípusokat, amikből bármely tetszőleges állomási topológia felépíthető. Két alapvető objektumtípust különböztettünk meg. Az egyik csoport a *pályaelem típusú* objektumoké, a másik a *jelzőké*. A pályaelemek azok az objektumok, melyeken a vasúti járművek közlekednek, és egymással összekapcsolva alkotják a vágányhálózatot. A jelzők a topológia azon diszkrét pontjai, melyek egy-egy vágányút start-, illetve célpontjai lehetnek, fizikailag nem a vágányhálózat részei, hanem azon kívül (jellemzően mellette) helyezkednek el.

A pályaelem típusú objektumok többfélék lehetnek, és összetettségüktől függően rajtuk keresztül több elemi útvonal értelmezhető. (Előző cikkünkben ezeket reprezentálták a vágányutak azonosítására használt Petri-hálók tranzíciói.) Egy-egy elemi útvonal az objektum két ellentétes oldali határpontja közötti, az objektumon keresztül lehetséges menetet írja le. A lehetséges objektum típusokat és azok belső kapcsolatait a 2. ábra mutatja be (a: szakasz, b: egyszerű kitérő, c: egyszerű keresztezés, d: félátszelési kitérő, e: átszelési kitérő).



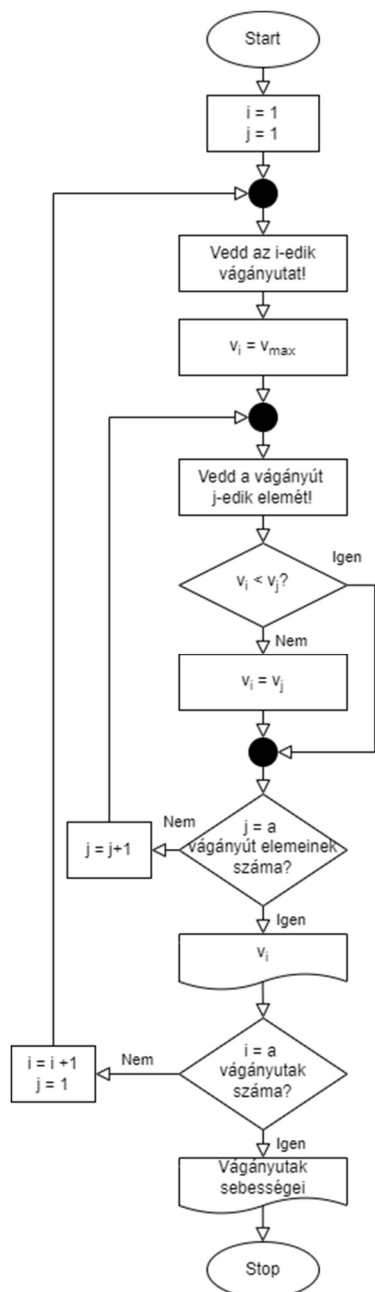
2. ábra. A vágányúti objektumok lehetséges belső kapcsolatai

Jelen tervezési lépés megoldásához kapcsolódóan az egyes objektumokat az alábbi paraméterekkel (változókkal) kell felruházni:

- Pályaelem típusú objektumok elemi útvonalai:
 - sebesség
 - hosszúság (szigeteléstől szigetelésig)
- Jelző objektumok
 - (a hozzá tartozó objektumhatártól mért előjeles) távolság

A startjelzők jelzési képei vágányutanként értelmezhetők. Ezért a jelen cikkben bemutatott tervezési lépés bemenete az első lépésben kiszámított vágányutak listája (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022). A menetterv elkészítéséhez szükséges jelzési képek meghatározása az egyes vágányutakon maximálisan alkalmazható sebességek, illetve a vágányút hosszának (startjelző-céljelző távolságának) kiszámításával kezdődik. Az értékek ismeretében a startjelző lehetséges jelzési képei egy táblázatból kiolvashatók.

Egy vizsgált főjelző több vágányút startjelzője is lehet, ezért szükséges, hogy képes legyen valamennyi tőle induló vágányútra tudjon sebességjelzést, illetve valamennyi tőle elérhető céljelzőre előjelzést adni. Ezen jelzési fogalmak

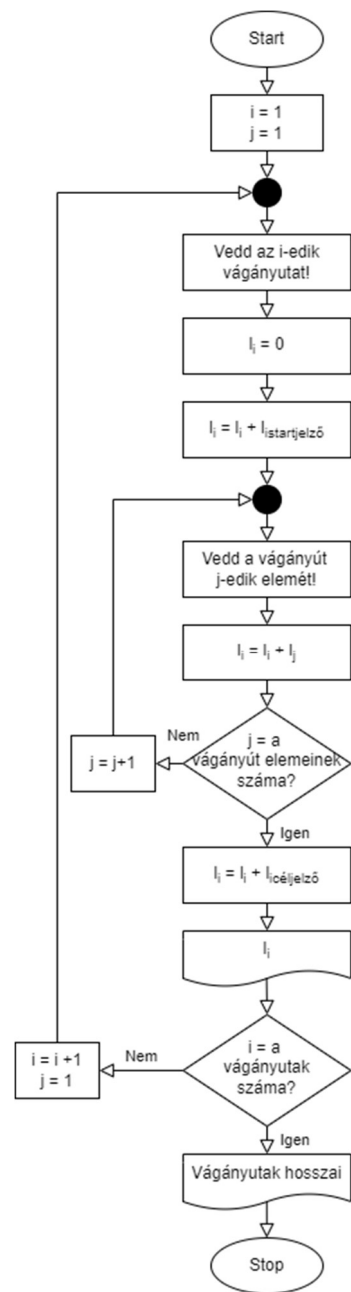


3. ábra. A vágányutak sebességértékeinek meghatározását bemutató folyamatára

összessége alapján határozható meg, milyen színű jelző-optikákra és indikátorokra van szükség az adott főjelzőn.

4.1 Sebességértékek meghatározása

A sebességek meghatározását a 3. ábra szemlélteti. Az állomáson beállítható vágányutakat i -vel jelöljük, feladat minden vágányút v_i sebességének meghatározása. A folyamat első lépésében a sebesség változót az állomáson maximálisan alkalmazható $v_{\max}$ értékkel inicializáljuk. A folyamat ezután egy vágányútra nézve úgy fut le, hogy a vágányút valamennyi j -vel jelölt elemének sebességét összehasonlítjuk a változó

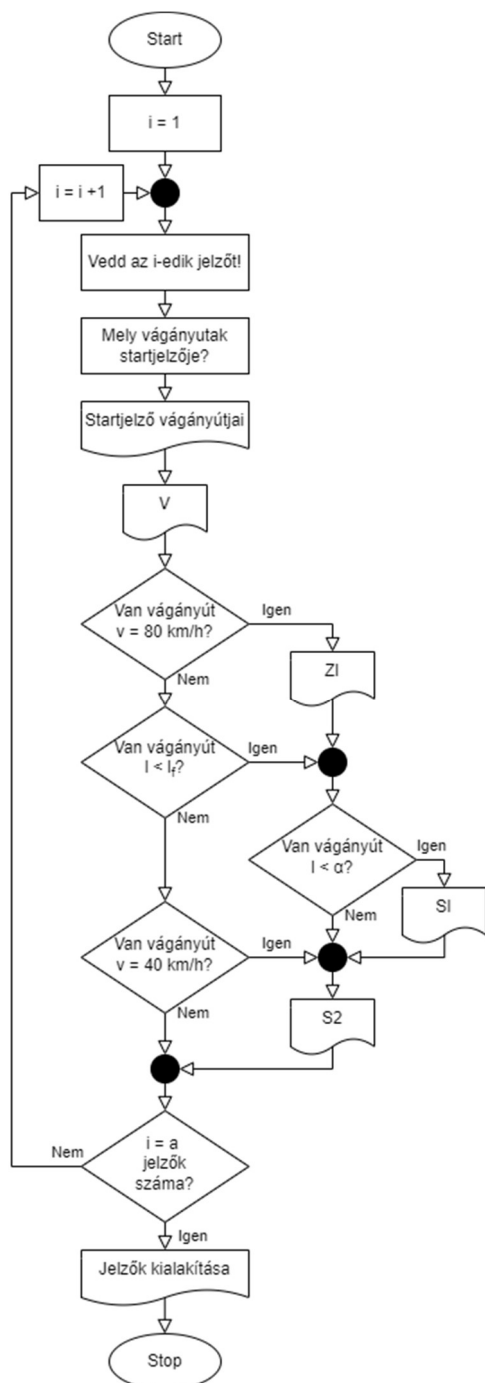


4. ábra. A vágányutak hosszának meghatározását bemutató folyamatára

aktuális értékével, és ha kisebb annál, akkor azzal felülírjuk. A vágányúton alkalmazható maximális sebesség tehát meg fog egyezni a vágányút legkisebb sebességgel járható objektumainak sebességével.

4.2 Távolságok meghatározása

A távolságok meghatározását a 4. ábra szemlélteti. A beállítható vágányutakat i -vel jelöljük, a folyamat elején a távolság változót nulla értékkel inicializáljuk. Ezt követően hozzáadjuk a startjelzőnek az első objektum vágányút elejére eső határpontjától vett előjeles távolságát. Egy ciklusban



5. ábra A főjelző rész optikakiosztás meghatározását bemutató folyamatábra

ezután minden elemi útvonal hosszával megnöveljük a változó értéket. A folyamat végén a céljelző vágányút végétől vett relatív távolságát is hozzáadjuk l_f -hez.

4.3 Jelzési képek a menettervhez

Az egyes vágányutak sebességének és hosszának ismeretében a startjelző lehetséges jelzési képei az 1. táblázatból olvashatók ki. Alapértelmezetten, amikor a startjelző és a céljelző távolsága elegendően hosszú, a főjelzés a vágányút

sebességével (v_i) egyezik meg. Az előjelzés pedig a következő (köv.) jelző által kijelzett sebességérték alapján olvasható ki.

Rövid vágányút és megszorított előjelzés esetén (a táblázat zölddel jelölt cellái) a főjelzés és az előjelzés egy lépésben határozható meg.

1. táblázat Főjelzők jelzési képei a vágányút sebességének és hosszának függvényében

Vágányút hossza	Köv. $v_{\max}$	Köv. v_{80}	Köv. v_{40}	Köv. v_0
$l > l_f$	Z	Z_{vill}	$S1_{vill}$	S1
$l_f > l > \beta$	Z	Z_{vill}	$S1_{vill}$	S1+S2
$\beta > l > \alpha$	Z	Z_{vill}	$S1_{vill}+S2$	S1+S2
$\alpha > l$	Z	Z_{vill}	$S1_{vill}+S2$	S1+S2+S _i

4.4 Optika kiosztás meghatározása – főjelző rész

Az állomási főjelzők főjelző részének optikakiosztása az 5. ábrán bemutatott folyamat szerint történik. Az adott topológián fellelhető jelzőket i -vel jelöljük. Minden jelzőhöz először össze kell gyűjteni azokat a vágányutakat, amiknek startjelzője lehet.

Mivel cikkünkben főjelzőkkel foglalkozunk, Megállj! jelzést mindig tudni kell adniuk, ezért a vörös optika felvétele automatikusan, minden jelző esetén megtörténik. Zöld indikátorra akkor van szükség, ha az adott jelzőtől kiinduló vágányutak között van olyan, melynek sebessége 80 km/h. Alsó sárga optikát kell alkalmazni, ha van 40 km/h sebességgel járható vágányút, vagy ha a vágányút hossza rövidebb, mint az általános fékúttávolság. Ha a vágányút α -nál is rövidebb, akkor sárga indikátor alkalmazására is szükség van.

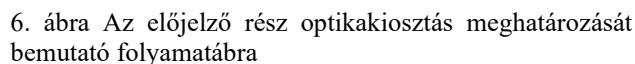
4.5 Optika kiosztás meghatározása – előjelző rész

Az előjelző rész optikakiosztásának meghatározását a 6. ábra szemlélteti. A jelzők i -vel indexeltek. Ez a folyamat előbb szintén az adott jelzőtől induló vágányutak, majd ezek céljelzőinek meghatározásával kezdődik.

Zöld optikát kell alkalmazni, ha van olyan következő jelző, ami képes $v_{\max}$ vagy 80 km/h sebesség kijelzésére. Felső sárga optikára pedig akkor van szükség, ha valamely következő jelző Megállj! vagy szabad, legfeljebb 40 km/h sebességgel jelzés adására alkalmas.

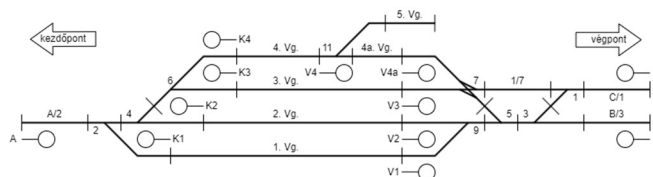
5. ESETTANULMÁNY

A 4. fejezetben bemutatott algoritmusok gyakorlati alkalmazásához egy ötvágányos állomást választottunk, melyhez kezdőpont felől egy egyvágányos, végpont felől egy kétvágányos nyílt vonal csatlakozik. A választott topológiát a 2. ábra szemlélteti. Az állomás négy vonatfogadó- és egy, a



Az állomást kezdőponti oldalról az „A” jelű, a végponti oldalról a „B” és „C” jelű bejáratí jelzők fedezik. A csatlakozó vonalak 120 km/h sebességgel járhatók. „A” irányból a bejáratí jelző előtt egy kiágazás fedezőjelzője található, „B” és „C” irányokban háromfogalmú önműködő térközbiztosító-berendezés üzemel, ezekre a jelzőkre kell a kijáratí jelzőknek előjelzést adniuk.

A kijárat jelzők jelölése a kezdőpont, illetve a végpont szavak első betűjéből és a fogadóvágányok számából áll. A 4. vágány kijárat jelzője a nyíltvonal felé V4a, a rakodóvágány kiágazó váltóját egy végponti irányban értelmezett közbenső jelző, a V4 fedezi.



7. ábra. A vizsgált állomás helyszínrajza

Az állomás kezdőponti végén három (2, 4, 6), míg a végponton hat (1, 3, 5, 7, 9, 11) kitérő található, melyek közül a 7-es egy átszelési kitérő, a 11-es pedig a kiágazás váltója. Az állomáson kilenc egyszerű foglaltságérzékelési szakasz van, öt a fogadóvágányokhoz, három a bejáratú jelzők mögött található szakaszokhoz (a „Megállj!”-ra ejtő szakaszokhoz), illetve egy az 1-es és a 7-es váltók között található szakaszhoz tartozik. Az állomás átmenő fővágánya a 2. vágány, mely mindkét csatlakozó irányból egyenes állású kitérőkön át érhető el.

A csatlakozó vonalak egyenes irányú meghosszabbításában található fogadóvágányok is pályasebességgel járhatók, ennek érdekében a 4-es váltó nagysugarú, kitérő állásban is alkalmas a 120 km/h-s közlekedés biztosítására. A kétvágányú pálya irányából érkező és oda visszainduló vonatok gyors fordítása érdekében az 1-es, 3-es és 9-es számú váltók is nagysugarúak, 80 km/h sebességgel járhatók, akárcsak az első vágány. A többi kitérő kitérő állásban 40 km/h-val járható.

A fogadóvágányok 730-800 m közti, a többi szakasz 60-200 m közti hosszúsággal rendelkezik. A K4, V4 és V4a jelzők kivételével valamennyi jelző hátrébb van húzva a szomszédos elemei foglaltságérzékelési határától 10 vagy 50 méterrel.

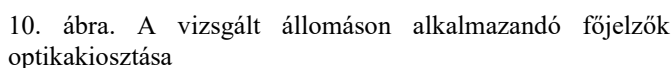
A fedezőjelző az „A” bejárat jelző előtt 400 m-re, a térközjelzők a „B” és „C” bejárat jelzőktől 1200 m-re találhatók. Az „A” irányból csatlakozó fedezőjelző a $v_{\max}$ és Megállj! sebességfokozatok mellett kiszolgálás esetén a kitérő iparvágányra terelő állásakor v_{40} sebességfokozatot is kijelvezhet. Az önműködő térközjelzők csak $v_{\max}$ és Megállj! értelmű jelzéseket adhatnak.

Az esettanulmány alapjául vett állomás blokkdiagramját a megfelelő objektumtípusok alkalmazásával a 8. ábra szemlélteti. Ezeket az objektumok paramétereztük fel a 4. fejezetben bemutatott módon a fent említett sebességekkel és távolságokkal. Ezt követően az algoritmusokban leírt folyamatok szerint végeztük el a számításokat.



A tervezési folyamat cikkünkben bemutatott lépésének kimenete a menetterv jelzési képek részének kitöltése, illetve az egyes állomási jelzők optikakiosztásának meghatározása.

A menetterv vonatkozó részének részletét a 9. ábra szemlélteti. A vágányutak azonosítása a csatlakozó vonali irányok, az állomási fogadóvágányok és a közlekedés iránya (be-/kijárat) segítségével történik. A gyakorlatban alkalmazott menettervhez képest, az eredmények jobb szemléltethetősége érdekében kiegészítésként felvettük az adott vágányút start- és céljelzőjét, valamint maximális sebességét és hosszát is. Ezt követően került felsorolásra az oszlopokban az állomáson lehetséges valamennyi jelzési kép, jelölve, hogy mely startjelző jelezheti ki az adott vágányútban.



Sárga indikátor a V4 jelzőre kerül, mivel a következő V4a jelzőig nincs meg az α távolság. Az állomás kezdőponti végén lévén szomszédos iparvágány-kiágazásig a legtöbb kijáratí jelzőtől nincs meg a fékúttávolság. Emiatt a jelzők négyoptikás kialakításúak lettek. Egyedül a K3 jelző található 1000 m-nél nagyobb távolságra, így az háromoptikás kialakítású, mivel szabad jelzést csak $v_{\max}$ sebességgel kell adnia.

Az eredmények számítása manuálisan történt, az algoritmusok verifikálása, illetve a módszertan szemléltetésének céljából. Kutatásunk további részében tervezzük az algoritmust formális módszerek segítségével modellezni és automatizálni.

A vasúti biztosítóberendezések tervezési folyamatát jelenleg is több eszköz támogatja, azonban az elkészült tervek ellenőrzése jellemzően manuálisan történik. A nem teljeskörű, bizonyos esetekben ellentmondásos tervezési előírások mellett emiatt az emberi hibázás lehetősége is nagy. Ezért tűztük ki kutatásunk céljául egy szisztematikus, automatizálható verifikációs módszertan kidolgozását. A tervezési folyamatot független lépésekre bontjuk, és az egyes lépéseket külön-külön megoldjuk. Formális modellezés és modelellenőrzés alkalmazásával a tervek helyességének akár teljeskörű ellenőrzése is lehetséges.

Jelen cikkünkben a tervezési folyamat 4. lépésének végrehajtását, azaz a startjelzők jelzési képeinek meghatározását leíró algoritmusokat mutattuk be. A vasúti jelzők által adott főjelzéseket alapvetően a pályageometriából adódó sebességek, illetve az egymást követő jelzők távolsága határozza meg. Emellett a vasúti közlekedés sajátosságából eredő nagy fékútak miatt szükséges a fékezésre vagy megállásra utaló előjelzést is adni, ami szintén lehet főjelzők feladata.

9. ábra. A vizsgált állomás menettervének startjelzők jelzési képiére vonatkozó részlete kiegészítve a vágányutak sebességével és hosszával

Az esettanulmányban bemutatott állomás főjelzőinek optikakiosztását a 10. ábra szemlélteti. A legtöbb jelző négyoptikás, indikátor nélküli kialakítású jelző. 80 km/h-ás sebességre utaló indikátor az állomás végponti végén található B bejárat jelzőre, illetve az első két vágány kijárat jelzőire kell.

A jelen cikkben bemutatott módszertan erősen épít a (Farkas és Bartha 2021), (Farkas és Bartha 2022) cikkekben ismertetett 1. lépésre, és az annak során meghatározott vágányutak listájára. A startjelzők a vágányúton való közlekedést csak a rajta alkalmazható sebességgel engedélyezhetik, illetve egyúttal előjelzést kell adni a céljelzőre. Az egyes főjelzőknek az összes tőlük induló vágányútra érvényesnek kell lenniük, tehát az optikakiosztásukat úgy kell meghatározni, hogy valamennyi szükséges jelzési kép adására képesek legyenek.

A megoldáshoz a vágányhálózatot tipizálható objektumok mentén felosztottuk részekre. Az egyes objektumokhoz pedig sebesség- és hosszértékeket rendeltünk. Az algoritmusok ezek segítségével számolják ki előbb külön-külön a vágányutak sebességét és hosszát, majd az ezekhez szükséges fő- és előjelzéseket.

A folyamat jobb értelmezhetősége miatt egy esettanulmányon keresztül mutattuk be az eredmények felhasználhatóságát a menetterv elkészítésében, illetve az alkalmazandó jelzők optikakiosztásának meghatározásában.

További kutatási terveink között szerepel a többi tervezési lépés kidolgozása, illetve jelen lépéssel együtt automatizálása formális modellezés segítségével.

HIVATKOZÁSOK

- 103/2003. (XII. 27.) (2003). GKM rendelet a hagyományos vasúti rendszerek kölcsönös átjárhatóságáról 4. Forgalmi szolgálat és forgalomirányítás, 4.1.8. A vonatokra vonatkozó általános előírások,
- Boldis Bálint, Farkas Balázs és Székely Béla (2019). Optimalizálási feladatok megoldása biztosítóberendezések tervezése során – 1. rész. *Vasúti Vezetékvilág*, **III/1**, pp. 3-8.
- Boldis Bálint, Farkas Balázs és Székely Béla (2019). Optimalizálási feladatok megoldása biztosítóberendezések tervezése során – 2. rész. *Vasúti Vezetékvilág*, **III/2**, pp. 3-7.
- Bosschaart, Mark et al. (2014). Efficient formalization of railway interlocking data in RailML. *Information Systems*, **volume 49**, pp. 126-141
- Celebi, Basri Tugcan és Kaymakci, Ozgur Turay (2016). Verifying the accuracy of interlocking tables for railway signalling systems using abstract state machines. *Journal of Modern Transportation*, **volume 24**, pp. 277–283
- Dr. Czére Béla (szerk) (1977). *A vasúti technika kézikönyve* 2. kötet 5.2. fejezet, Hegedüs Géza: Jelző- és biztosítóberendezések, pp. 248-264. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, ISBN 963 10 1237 9
- Fantechi, Alessandro, Fokkink, Wan és Morzenti, Angelo (2013). Some Trends in Formal Methods Applications to Railway Signaling. In: *Formal Methods for Industrial Critical Systems: A Survey of Applications*. (szerk.: Gnesi, Stefania és Margaria, Tiziana), pp.61-84, IEEE
- Farkas Balázs, Dr. Bartha Tamás (2021). Vasúti biztosítóberendezések tervezésének formális modellezése Petri-hálók alkalmazásával: vágányutak azonosítása T-invariánsok felhasználásával, *XV. IFFK Konferencia*, Budapest, Magyarország, (paper 30)
- Farkas Balázs, Dr. Bartha Tamás (2022). Automated railway interlocking plan verification using Petri nets, *The Fifth International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*, Montpellier, Franciaország, (4F.07)
- Ferrari, Alessio et al. (2011). Model Checking Interlocking Control Tables. In: *FORMS/FORMLAT 2010 Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems*. (szerk.: Schnieder, Eckehard és Tarnai Géza), pp. 107-115, Springer
- Ferrari, Alessio et al. (2021). Systematic Evaluation and Usability Analysis of Formal Tools for Railway System Design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, preprint
- Görög Béla (2013). Rákos – Hatvan vasútvonal biztosítóberendezés létesítés engedélyezési ügye Tényállás tisztázása, UVH/VF/417/11/2013, Magyar Államvasutak ZRt., Üzemeltetési Főigazgatóság, Biztosítóberendezési Osztály
- James, Phillip et al. (2014) Techniques for modelling and verifying railway interlockings. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, **volume 16**, **issue 6**, pp 685-711
- Kanso, Karim, Moller, Faron és Setzer, Anton (2009). Automated Verification of Signalling Principles in Railway Interlocking Systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. **volume 250**, **Issue 2**, pp. 19-31
- Kirilly Kálmán (1996). D-55 ideiglenes tervezési irányelvek, 101513/1996, Magyar Államvasutak Rt., Távközlő-, Erősáramú- és Biztosítóberendezési Szakigazgatóság
- Kirilly Kálmán (1996). Bp-Hegyeshalom vonal jelzőtávolságok meghatározása, 105123/1996, Magyar Államvasutak Rt., Távközlő-, Erősáramú- és Biztosítóberendezési Szakigazgatóság
- Magyar Államvasutak Zrt. (2008). F.1. sz. Jelzési utasítás, utolsó módosítás: 2015., 2. A főjelzőkre, előjelzőkre és ismételőjelzőkre vonatkozó általános rendelkezések, pp.27-45., MÁV Zrt. Pályavasúti Üzemeltetési Főigazgatóság
- Mutlu, İlhan et al. (2013) Automatic Interlocking Table Generation for Non-ideal Railway Yards, *IFAC Proceedings Volumes*. **volume 46**, **Issue 25**, pp. 55-59
- Pálfalvi Sándor (1976). Önműködő térközbiztosítóberendezések sínáramköreinek tervezhető hosszai, 109453/1976.9.C, Magyar Államvasutak, Biztosítóberendezési és Automatizálási Szakosztály
- Vanit-Anunchai, Somsak (2018) Modelling and simulating a Thai railway signalling system using Coloured Petri Nets. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, **volume 20**, pp. 243–262
- Yıldırım, Uğur (2012) Automatic Interlocking Table Generation for Railway Stations using Symbolic Algebra, *IFAC Proceedings Volumes*. **volume 45**, **Issue 24**, pp. 171-176