

A Budapest–Győr vonalszakasz forgalmi és erőssáramú vizsgálata

© Dolhay Márk

A Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. elkötelezte magát a mai kor igényeinek megfelelő kapacitású vasútvonalak és állomások megépítésére, ezért minden fejlesztés előtt egy számítógépes forgalmi, menetrendi és amennyiben releváns, erőssáramú szimulációt végeztet el. Ezáltal is optimalizálva a beruházások költségeit. Vasúti szimulációs szempontból 2009 egyik nagy feladata volt a „Bp. Kelenföld (kiz.)–Győr (kiz.) vonalszakasz forgalmi és erőssáramú szimulációs vizsgálata” nevet viselő projekt. A közbeszerzési eljárás nyertese az Axon 6M Kft. lett. Jelen írás arra vállalkozik, hogy az alkalmazott módszereket, illetve a szerző által fontosabbnak tartott tanulságokat megossza a téma iránt érdeklődő kollégákkal.

A feladat szerteágazó volta sok szakma képviselőinek részvételét igényelte. Szükség volt forgalmi szakértőre, biztosítóberendezés-tervezőre, pályatervezőre, villamosmérnökre, informatikusra, programozó matematikusra.

A feladat

A projekt célja annak átfogó vizsgálata volt, hogy a Győr–Pápa–Celldömölk vasútvonal fejlesztése után az 1-es fővonalon várható forgalomnövekedés milyen mértékben terheli (túl) az ottani infrastruktúrát forgalmi és erőssáramú szempontból. Vagyis fel kellett deríteni az esetleges szűk keresztmetszeteket, és megoldási javaslatokat kellett kidolgozni azok áthidalására.

A továbbiakban először az alkalmazott eszközöket, majd azok felhasználási módját ismertetem.

A forgalmi szimulációs rendszer

A legfontosabb eszköz az a szimulátor, amelyik egyszerre modellezi:

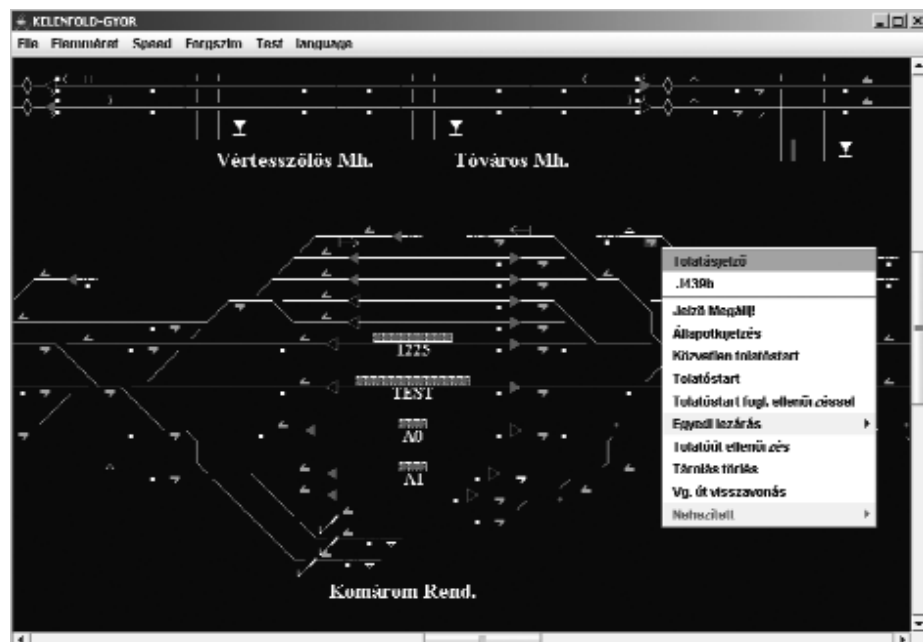
1. A biztosítóberendezések működését és kezelőfelületét.
2. A külsőteri objektumok időhelyes működését (váltók, jelzők, sorompók stb.)
3. A vonatok menetdinamikai törvényszerűségeken alapuló mozgását. Ez konkrétan a lejtviszonyok, ívek, vonóerőgörbék és fékszázalékok figyelembevételét jelenti.

A rendszer fontos része a **menetrendi vezérlő**, amely a mai modern valós me-

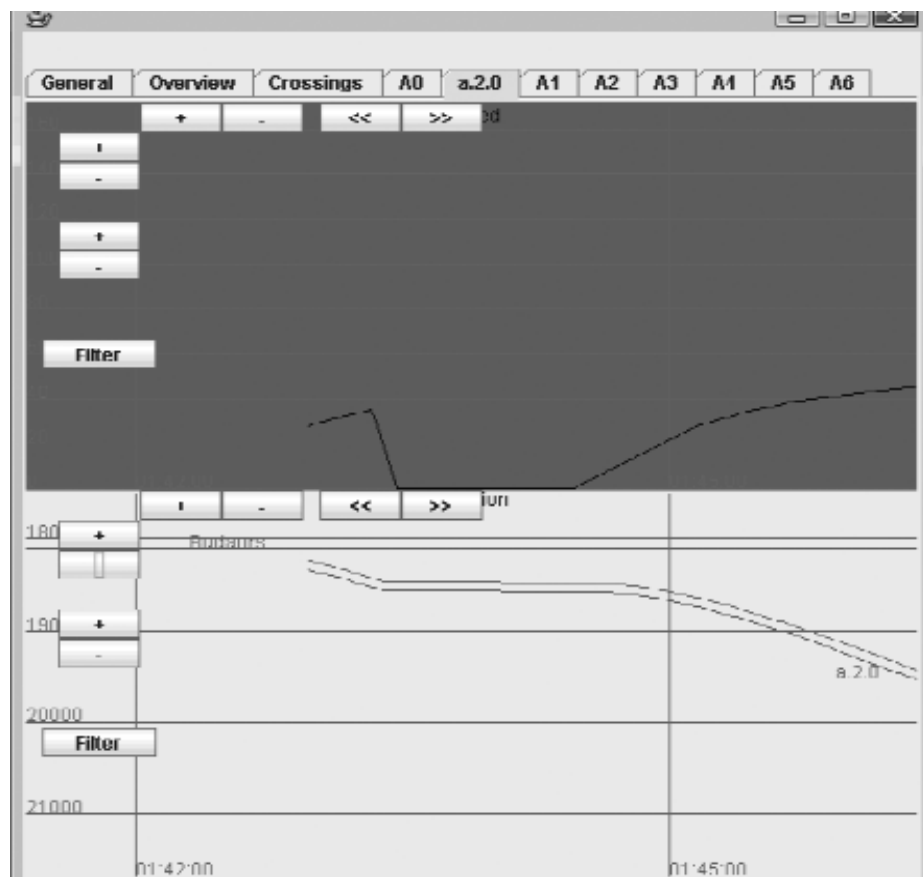
netrendi vezérlőkhöz hasonló szolgáltatásokat nyújt a szimulált környezetben. Vagyis vonatoknak állít vágányutakat az

előre beállított menetrend alapján, figyelembe véve a biztosítóberendezési függőségeket, illetve a vonatonként és jelzőnként külön beállítható egyéb feltételeket (például más vonatok bevárása).

Másik fontos alrendszer az úgynevezett **makrovezérlő**, amely többek között a tolatómozgások, rendezések valós idejű, előre programozott lejátszását képes



1. ábra: Interaktív üzemmód: kezelőfelület kocsinformációval kiegészítve, a rendezések követhetősége érdekében



2. ábra: Interaktív üzemmód: egy vonat út-idő és sebesség-idő diagramjai

elvégezni, vagy akár a menetirány automatikus megfordítását egyvágányú pályán, vagyis minden olyasmit, ami a valóságban emberi beavatkozást igényel a tesztesetek (forgalmi zavарesetek) automatikus lefutása érdekében, mégis automatizálni kell.

A szimuláció sebességét illetően a következő lehetőségek vannak.

1. A program futhat valós időben. Ilyenkor a kezelő maga lehet a forgalmi szolgálattevő, szimulálva az „emberi tényezőt”, a maga reakcióidejével, alternatív döntéseivel stb.

2. A program futhat gyorsított üzemmódban, vagyis 5-, 10-, 20-, 50-szeres sebességgel. Ilyenkor a kezelő szintén beavatkozhat a folyamatokba, de ebben az esetben már nem tudja hitelesen eljátszani a forgalmi szolgálattevőt.

3. A szimuláció futhat „batch” módban, amikor a program a processzort maximálisan terhelve olyan gyorsan fut, ahogy azt a számítógép erőforrásai lehetővé teszik. Ez akkor használatos, ha a menetrend és az előre programozott makrók olyan összhangban vannak, hogy a végrehajtás nem igényel emberi beavatkozást. Megjegyzem, minden tesztesetnek el kell jutnia erre a kidolgozottsági szintre.

Menetrendszerkesztő szimulációs támogatással

A menetrendszerkesztő program a nevéhez híven a szimulációs menetrend („ütemes” vagy „szimpla”) létrehozásában segíti a felhasználót. Sok hasonló vagy akár jobb menetrendszerkesztő létezik az országban, ami miatt a részletes ismertetésétől el is tekintek, egy figyelemre méltó tulajdonságot leszámítva, amit érdemes bemutatni. Nevezetesen: a program egybe van integrálva az előző pontban ismertetett szimulátorral. Emiatt több kényelmes és hasznos funkció megvalósítására nyílt lehetőség.

1. Az egyes megállók közti menetidő a szimulátor segítségével pontosan kiszámítható. Ilyenkor a felhasználó egyetlen feladata, hogy megjelölje, mely megállókban kell a vonatnak megállnia, majd utasítja a szerkesztőt, hogy a többi adatot számítsa ki automatikusan. Ekkor a szerkesztő készít egy egyvonalas menetrendet, amelyet a szimulátor végrehajt, miközben feljegyzi a futás összes lényeges paramétereit. Ezek egyrészt a futási idők az egyes állomások között, másrészt az összes objektumhoz tartozó foglalási és lezárási idők.

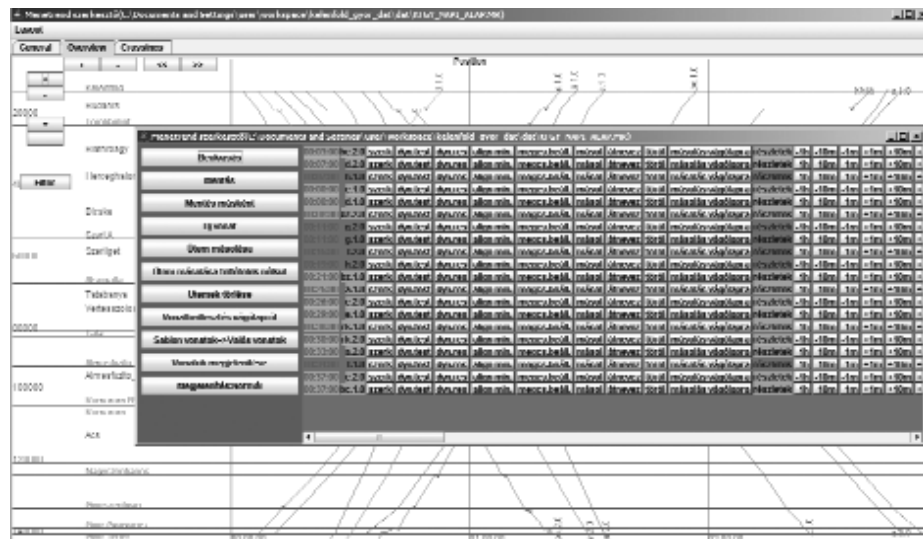
2. Mivel rendelkezésre áll az egyes vonatokhoz tartozó összes objektumfoglalási adat, sokkal pontosabban lehet a menetrendi konfliktusokat előre jelezni, mint egyébként.

Az objektumfoglalásokat a következő kategóriákba soroltuk:

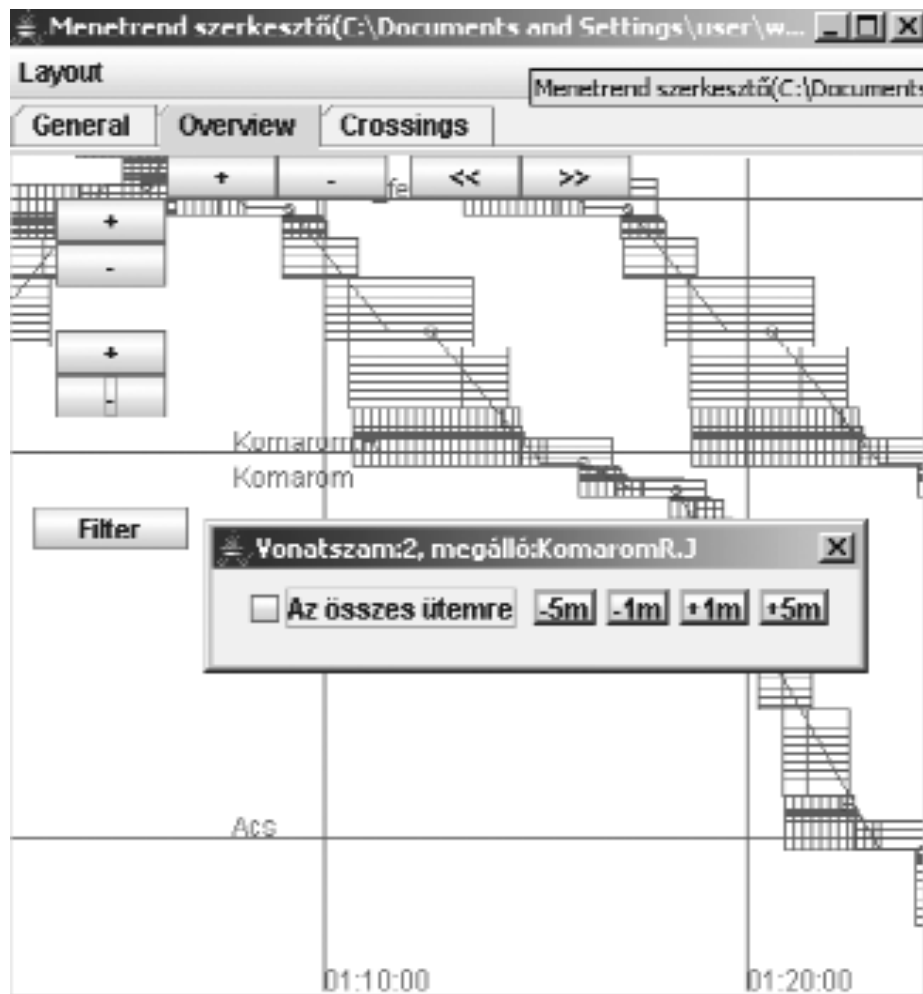
- **fizikai foglaltság** (a vonat az adott objektumon tartózkodik),
- **lezárás vágányútban,**
- **lezárás megcsúszási vágányútban,**
- **„rákövetkező térköz”** (Megj.: A mögöttes gondolat szerint két egymást követő vonat akkor tud zavartalanul közlekedni

ni állomásközbén, ha közöttük mindig legalább egy szabad térköz található, vagyis a konfliktus elemzés szempontjából a térközben vagy állomásból kihaladó vonat a rákövetkező térkört is foglalja.)

Konfliktust akkor jelez a menetrend-szerkesztő, ha van olyan időpillanat, amikor egy objektumot két vonat is „foglal” a fenti értelemben.



3. ábra: Menetrendszerkesztő főablója



4. ábra: Objektumfoglaltságok megjelenítése

Az erősáramú szimulátorral szemben támasztott követelmény a következő volt: tetszőleges vasúti topológián, tetszőleges forgalmi helyzetben, tetszőleges felsővezetéki hálózaton számítsa ki az áram és feszültség értékeket – gyakorlatilag: az U, I, ϕ meghatározása minden egyes vezeték szakaszra, transzformátorra és villanyozdonyra. A helyzetet jelentősen bonyolítja, ha feltételezzük, hogy vannak nem lineáris elemek a hálózatban – és sajnos vannak. Ha szigorúan nézzük, a villanyozdonyok ilyenek, de említhetném a 2x25kV-os rendszer egyes komponenseit is. A megoldás egy egyedi, erre a problémára optimalizált numerikus módszer lett, ami mindannyiunk megnyugására igen gyorsan konvergál, és ha másodpercenként futtatjuk, akkor nem sokkal nagyobb a processzor igénye, mint a forgalmi szimulátoré.

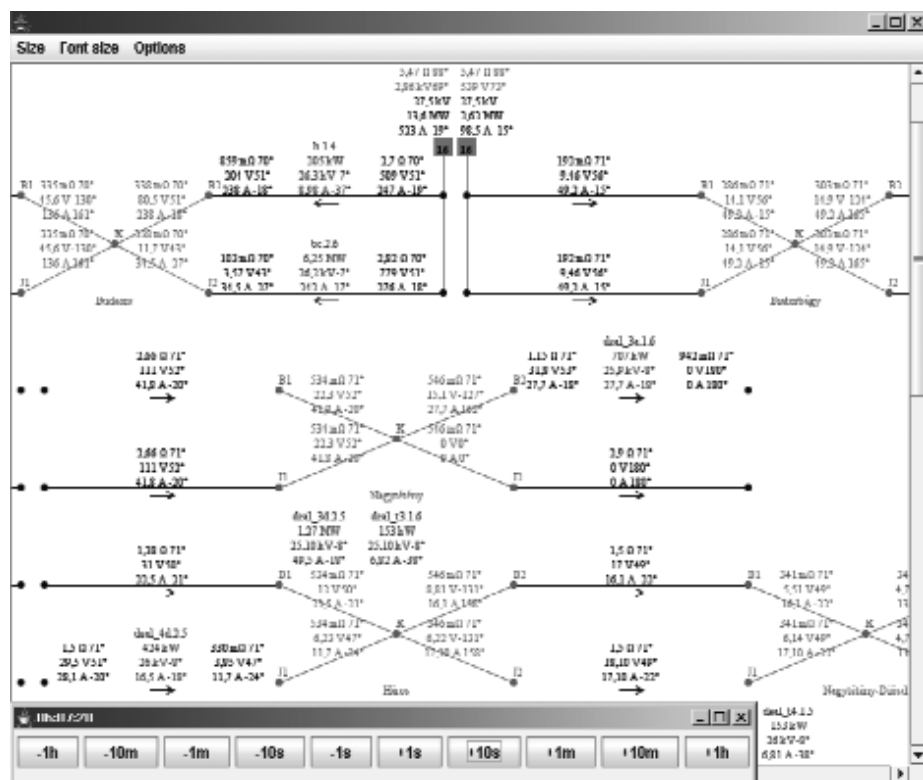
Az erősáramú szimulátor egy időben futtatható a forgalmi szimulátorral. Ez azzal az egyelőre nem kiaknázott lehetőséggel kecsegtet, hogy akár azt is modellezhetnénk, hogy a feszültségessé visszahat a mozdonyteljesítményre, így akár késéseket is előidézve.

Az erősáramú szimulátor másik üzemmódja az offline futtatás. Ilyenkor a forgalmi szimuláció során rögzített teljesítmény- és pozícióadatok alapján utólag kerül kiszámításra a feszültség- és áramértékek időbeni alakulása. Ez a tipikus futtatási mód, annál is inkább, mivel a forgalmi és erősáramú szakaszok általában nem esnek egybe. Vagyis, ha az 1-es fővonal transzformátorainak terhelésére vagyunk kíváncsiak, akkor több más fővonal és szárnyvonal forgalmával is számolnunk kell, amelyeket amúgy nem praktikus egy folyamaton belül szimulálni.

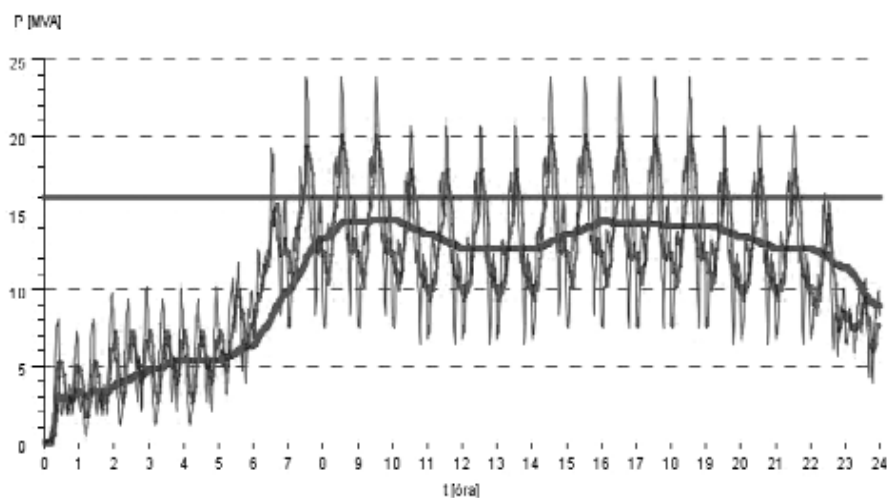
Van egy harmadik lehetőség is, egyfajta hibrid futtatás, amely az előző kettő tulajdonságait ötvözi, és elsősorban bemutatónál hasznos. Ilyenkor a vonatadatok egy része párhuzamosan futó forgalmi szimulációból érkezik, a többi (például a szárnyvonalakon közlekedő vonatoké) korábban rögzített adatbázisokból.

A szimulátorok kimenetei

A szimuláció futtatása után az eredmények grafikus, emberi szem számára értelmezhető formában történő megjelenítését külön szoftvereszközök végzik. Ezek a következők:



5. ábra: A hálózaton monitor program a szimuláció bármely pillanatában képes megjeleníteni a feszültség- és áramértékeket az erősáramú hálózatban



6. ábra: Transzformátor átlagteljesítmény diagram

Forgalmi szimulátor kimenetei:

- Vonali foglaltsági diagram.
- Állomási foglaltsági diagram.
- Színkódos objektumterhelési diagram.

Erősáramú táblázatok:

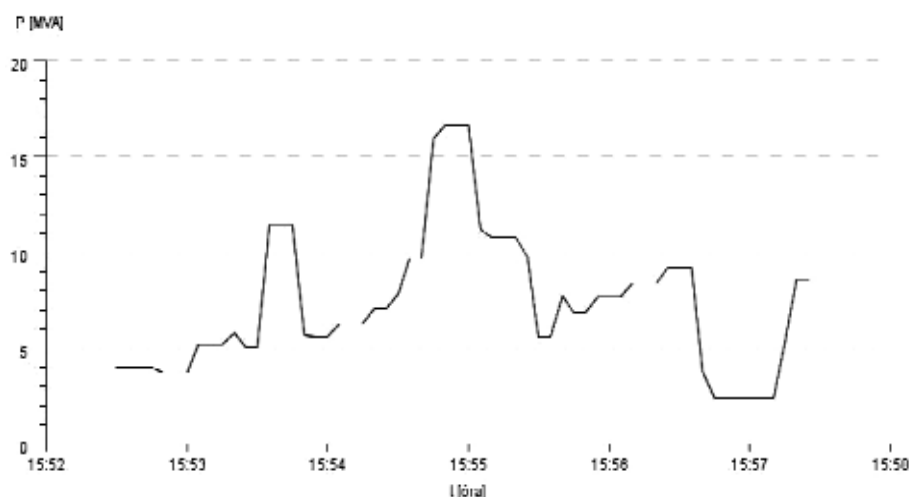
- Minimális mozdonyon mérhető feszültségek táplálási esetenként.
- Maximális áramerősségek munkavezetékeken.

Erősáramú diagramok:

- Teljesítménytényező idődiagramja az állomás felől nézve.
- Transzformátor átlagteljesítmény diagram 5, 15 és 120 perces időablakkal.

- Transzformátor pillanatnyi teljesítménye a mértékadó túlterhelés környezetében.

Az utolsó diagram (mértékadó túlterhelés) ismereteim szerint korábbi vizsgálatokban nem szerepelt, ezért talán magyarázatra szorul. Értelmét az adja, hogy az utolsó előtti ún. „átlagteljesítmény diagram” ugyan megmutatja, hogy a transzformátor kibírja-e a szimulált forgalom által okozott terhelést, de a megbízót az is érdekli, hogy a transzformátor védőáramköre lekapcsol-e, mert azt bizony neki kell visszakapcsolnia akár naponta többször is. A „mértékadó túlterhelés” diagramok segíthetnek a védőáramkör helyes beállításában.



7. ábra: Mértékadó túlterhelés diagram

A forgalmi szimulációs vizsgálat

A forgalmi vizsgálat tulajdonképpen egy adott topológián egy adott menetrend *zavarérzékenységi vizsgálatát* jelenti. Ez egy igen sokféleképpen értelmezett fogalom. Példának szeretném hozni a Német Vasutak (DB) ide vonatkozó menetrend-stabilitási előírását, amely kimondja, hogy egy 10 perces késésnek 2 órán belül el kell tűnnie a rendszerből.

Alapos elemzésnek vetettük alá a vizsgált vonalszakasz késési statisztikáit és az érintett állomások hibanaplóit. Harmadik forrásként meghallgattuk a vonalat jól ismerő szakemberek véleményét a tekintetben, milyen kritikus pontokat látnak ők a Győr–Budapest vonalon.

Az adatok elemzése és összevetése után a megbízóval közösen 16 *zavareset* határoztunk meg, amelyek fennállása mellett vizsgáltuk a távlati menetrend lebonyolíthatóságát. Ezek között volt egyszerű biztosítóberendezés-meghibásodás, mozdonymeghibásodás tétközben, gázolós baleset, árvíz, egyvágányú közlekedés a mértékadó tétközben stb.

Minden egyes zavareset kidolgozása úgy zajlott, hogy először interaktív üzemmódban „elpróbáltuk” az esetet, majd a menetrendszerkesztővel, a makroszerkesztővel automatikusan lejátszhatóvá tettük azt. Az eredményfájlok elemzése után feljegyeztük, hogy az adott forgalmi zavar milyen késéseket okozott az érintett vonatoknál.

Az erőáramú szimulációs vizsgálat

Az erőáramú vizsgálat tárgya a kérdéses vonalszakaszra eső alállomások és felsővezeték terhelésének alakulása volt. Amint arról korábban említést tettem, az

alállomások normálüzemi és szükségüzemi tápszakasza jelentősen túlnyúlik a forgalmi szimuláció határain. Ezért mindenekelőtt a mai menetrend alapján 24 órás szimulációt kellett futtatni a következő kapcsolódó vonalakon: Győr–Hegyeshalom, Tatabánya–Oroszlány, Déli pu.–Kelenföld–Százhalombatta/Érd, Népliget–Kelenföld vonalszakaszokon.

Miután a forgalmi szimulációk adatai rendelkezésre álltak, el lehetett kezdeni az erőáramú szimulációs vizsgálatot. A témában kevésbé járatosak kedvéért fontos megjegyezni, hogy az alállomások transzformátorai nem mindig ugyanazt a tápszakaszt táplálják. Karbantartás vagy meghibásodás esetén átvehetik egy ugyanazon az alállomáson lévő másik transzformátor feladatát, vagy akár a szomszédos alállomás tápszakaszát is. A vizsgálat során az összes ésszerűen lehetséges táplálási esetet vizsgáltuk – szám szerint 21-et.

Fontos megemlíteni, hogy a valóságban a felsővezeteki hálózat nem teljesen egyezik a szimulációban felépített vezetékhálózattal. A MÁV-nál elfogadott eljárás szerint az állomások felsővezeték-hálózatát elhanyagoltuk, helyette az állomás területén tartózkodó mozdonyokat az állomás középpontjába (értsd: a megkerülő vezetékek találkozási pontjába) helyeztük. A szimuláció pillanatnyi állapotát a *Hálózat Monitor* szoftver segítségével követhetjük nyomon.

A szimulációs vizsgálat következtetései

A vizsgálat megállapításai és következtetései sok-sok oldalt foglalnak el az igen vastkos tanulmányban, ezért ezeknek csak kivonatos ismertetésére van mód.

A forgalmi szimulációs vizsgálat megállapította, hogy a távlati menetrend a zavaresetek túlnyomó részében gond nélkül végrehajtható. Bizonyos átépítések egyes állomásokon javíthatják az át-bocsátóképeséget (pl. Herceghalmon egy gyalogos aluljáró), árvíz tekintetében pedig javasolt a töltés megerősítése.

Az erőáramú vizsgálat már komolyabb szűk keresztmetszeteket is feltárt. Tatabánya alállomás egyértelműen bővítésre szorul. Biatorbágyon jobb a helyzet, de ott sem zárható ki túlterhelések. Nagyszentjánoson nem látunk kapacitásgondokat.

Feszültségesés tekintetében a helyzet sokkal jobb, szinte soha nem esik a feszültség a kritikus szint alá, és ez vélhetően tovább fog javulni, ha a mozdonypark fokozatosan kicserélődik modern, jobb teljesítménytényezőjű mozdonyokra.

Stromversorgung- und Verkehrssimulationsprojekt Strecke Budapest–Győr

Die komplexe Aufgabe war es, festzustellen, welche künftige Überlastungen, Engpässe auf der Strecke Budapest – Győr aufgrund des erhöhten internationalen Zugverkehrs zu erwarten sind. Dieser Artikel zeigt die angewandten Methoden und Software-Werkzeuge. Unter anderem werden ein Fahrplanneditor mit erweiterter Konflikterkennungsfähigkeit, ein integriertes Simulationssystem für Zugverkehr und Stromversorgung beschrieben.

Simulating train traffic and the electric supply system of the Budapest–Győr train line

The goal of the project was to find all bottlenecks of the current infrastructure due to the expected increase of international train traffic on the Budapest–Győr line. This paper discusses the applied methods and software tools. Among others, a timetable editor with enhanced conflict detection and a complex simulator for train traffic and electric supply system are presented.