

Budapest vasúti elkerülhetőségének barnamezős alternatívái

Navigare necesse est, vivere non est necesse. Hajózni szükséges, élni nem szükséges. Plutarkhosz szerint Pompeius császár mondta ezt hajósainak, akik a viharos időben nem akartak kihajózni Szicíliából Róma felé a gabonákkal megrakott hajókkal. A 21. századra vonatkozóan talán így parafrázálhatnánk ezt az aforizmává nemesült kijelentést: *Közlekedni márpedig kell!* A mindennapi élet, az ország gazdasága számos helyváltoztatási igényt generál. A közlekedési infrastruktúrák zavartalan működése tehát a gazdaság és az élet meghatározó feltétele, és ha még a személyes mobilitást korlátozzák is (például veszélyhelyzet esetén), az áruszállítástól nem lehet eltekinteni, mivel az beláthatatlan károkat okozna az ország gazdaságának. Már csak ezen nemzetgazdasági jelentőségük miatt is kiemelt állami feladat a közlekedési pályák működőképességének biztosítása, de különleges jogrend idején, a Honvédség mobilitási igényei miatt még inkább kiemelt jelentőségű lesz. Ez indokolja, hogy a közlekedési pályákat a létfontosságú rendszerek közé soroljuk.¹ Az ilyen, úgynevezett kritikus infrastruktúrák fenntartása és fejlesztése kiemelt figyelmet igényel békeidőben, hogy különleges jogrend idején is el tudják látni funkciójukat (a magyarországi vasúti infrastruktúra létfontosságú elemeinek meghatározását lásd jelen tanulmánykötetben, Horváth Attila és Lévai Zsolt tanulmányában).

Magyarország vasúti infrastruktúrája

Amikor Trianonban a határt a Szabadka–Temesvár–Arad–Nagyvárad–Szatmárnémeti–Királyháza–Csap–Kassa–Rozsnyó–Losonc vonalon, azaz a 19. század végén kiépített vasúti körgyűrűn belül húzták meg, az ország vasúthálózata a fővonalak tekintetében transzverzálisan gyakorlatilag átjárhatatlanná vált, és a Budapest-központú sugaras szerkezet miatt egy kritikus műtárgynál a rombolás komoly forgalomkiesést eredményezne.² Éppen ezért már az I. világháború után felmerült és az 1970-es években már konkrét tervek is születtek egy budapesti elkerülő vasúti hálózat megépítésére. Ezek közül a legismertebb a „V0” néven ismertté vált, teljesen új építésű vasútvonal terve, mely délről került volna el Budapestet. Időközben azonban megépült a Budapesti Intermodális

¹ 2012. évi CLXVI. törvény a *létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről*.

² Horváth Attila: A közúti, vasúti és vízi közlekedés terrorfenyegetettségének jellemzői. In Tóth Péter (szerk.): *A politikai marketing fogságában*. Budapest, Mágustúdió, 2006. 321–336.

Logisztikai Központ (BILK), melynek érintése elkerülhetetlenné teszi a fővárosba való behaladást. A V0 tehát lekerült a napirendről, ugyanakkor a probléma megoldása nem.

Szűk keresztmetszetek

A vasút részesedése az ország teherforgalmából 2019-ben a szállított áruk tömegének 16,77%-a volt, amely az árutonna-kilométerek 18,11%-a.³ Az áruk hatoda tehát vasúton ér célba – ez az 1985-ös 55%-hoz képest is rendkívül kevés,⁴ hiába volt célkitűzés a vasúti szállítás részarányának a Nyugat-Európában kialakultnál magasabb szinten történő megtartása.⁵ Nyugat-Európában is látszódik a politikai akarat, hogy az áruforgalmat közútról minél jelentősebb mértékben vasútra tereljék, nem csupán a gazdaságosság, hanem a vasút környezetbarát volta miatt is, értve ezalatt az alacsonyabb károsanyag-kibocsátást vagy a kisebb zajterhelést.⁶

A magyarországi vasúti infrastruktúra egyik legneuralgikusabb pontja a budapesti átkelés.⁷ Ez két dolgot jelent: egyrészt a fővároson való keresztülhaladást, másrészt a Dunán való átkelést. A kelet–nyugati vasútvonalak hosszan haladnak a városban, zavarva az ott élők nyugalma, a tranzitvonatok számára a Dunán történő átkelést pedig lényegében csak az Összekötő vasúti híd biztosítja, amely szintén a fővárosban, a belváros déli szélén található. A probléma a hidat magába, foglaló Ferencváros–Kelenföld állomásköz túlterheltségében mutatkozik meg leginkább, amelynek következtében a híd átbocsátóképessége határán jár.⁸

Szükséges tehát, hogy az Összekötő vasúti híd – mint kritikus infrastruktúra elem – helyettesítéséről gondoskodjunk. A jelenlegi hálózatban sem az újpesti, sem pedig a bajai Duna-híd nem alternatívája az Összekötő vasúti hídnak. Az újpesti hídon keresztül a Budapest–Almásfüzitő távolság csak 8 km-rel hosszabb, mint az Összekötő vasúti hídon keresztül vezető útvonal, ugyanakkor a Duna jobb partján nem ad közvetlen kapcsolatot Kelenföld irányába, így az erre terelt vonatoknak végig kell haladniuk a dombvidéki és részben egyvágányú esztergomi, valamint a végig egyvágányú és dízelvontatású

³ Lásd: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_odmv003.html

⁴ Szászi Gábor: Katonai vasúti szállítások a Magyar Honvédség missziós feladatainak rendszerében. *Szlovaki Tudományos Közlemények*, 16. (2010). 101–118.

⁵ Szászi Gábor: Magyarország közlekedési infrastruktúrájának fejlesztése napjainkban: Közút vagy vasút? *Katonai Logisztika*, 15. (2007), 2. 32–59.

⁶ Berényi János – Lévai Zsolt: CORCAP – a környezetbarát áruszállítási folyosók kialakítása útján. In Horváth Balázs – Horváth Gábor (szerk.): *X. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia. X. International Conference On Transport Sciences*. Győr, Széchenyi István Egyetem Közlekedési Tanszék – Közlekedéstudományi Egyesület, 2020. Paper 38.

⁷ Szászi Gábor: Long-span railway bridges in the transport system of Hungary. *Hadmérnök*, 8. (2013), 2. 98–107.

⁸ Lévai Zsolt: A vasúti alágazat jelenkori kapcsolódása a közlekedési támogatás rendszeréhez. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 1–2. 198–223.

Esztergom–Almásfüzitő vonalon, jelentős idővesztéssel elszemve. Ezenkívül a vonalak kapacitása is elégtelen a forgalom elvezetésére. A bajai híd 144 km-re délre fekszik az Összekötő vasúti hídtól, így a kerülőút hossza irreálisan megnövekedne, ezért a védelmi feladatok ellátásában nem reális alternatíva.⁹ A híd továbbá szintén egyvágányú, nem villamosított vonalon fekszik, amely tovább növeli a kerülőút időszükségletét és csökkenti az áteresztőképességet.

Budapest vasúti infrastruktúrája

Budapest az ország legjelentősebb vasúti csomópontja. A városba vezető és azon keresztülhaladó vasútvonalakat napi több tízezer ember használja, valamint az áthaladó teherforgalom is napi többtízezer elegy tonnát jelent. A vasútvonalak nagy része már a 20. század elejére kiépült mai formájában, azaz a hálózat szerkezete a múlt század eleji állapotokat tükrözi, az akkori (személy- és teherszállítási) igények kielégítésére született. A vasúti fejlesztések jelentős része a Budapesten kívüli vonalakra irányult, és irányul jelenleg is, ezért a főváros vasúthálózata mára már inkább gátjává, mintsem elősegítőjévé vált a korszerű szállítási módok terjedésének. A rendszer átbocsátóképessége nem változott, nem valósultak meg kapacitásnövelő fejlesztések, ennek következtében Budapest vált a magyarországi vasúti forgalom szűk keresztmetszetévé.

A városból 11 nagyvasúti, valamint három HÉV-vonal indul ki, egy HÉV-vonal pedig, a csepeli, teljes egészében a város határain belül fut. A nagyvasúti vonalak három fejpályaudvarról, a helyi érdekű vonalak szintén három különböző végállomásról indulnak, a csepeli vonal zsákvonallal, nem csatlakozik másik vonalhoz.

A budapesti vasúti infrastruktúra másik nagy csoportját adják a körvasút elemei (1. ábra). Ezek azon vonalhálózati elemek, amelyek kapcsolatot teremtenek az egyes sugárirányú vonalak között. Legfontosabb eleme a *külső körvasút*, a Kőbánya felső/Rákos és Rákosrendező/ Rákospalota-Újpest állomások közötti vasútvonal, amely összeköti az 1. (Budapest–Hegyeshalom), a 80. (Budapest–Hatvan–Miskolc–Nyíregyháza), a 120. (Budapest–Újszász–Szolnok–Békéscsaba–Lőkösháza) és a 150. (Budapest–Kelebia) számú vonalakat a 2. (Budapest–Esztergom) és a 70. sz. (Budapest–Vác–Szob) vonalakkal, így lehetővé teszi az észak–déli átjárást fejpályaudvar érintése nélkül. A vonal jelentőségét mutatja, hogy végig kétvágányú, villamosított és önműködő térközbiztosítóberendezéssel felszerelt pálya. Ugyanakkor az egyik legfontosabb szakasza, az Angyalföld elágazás – Rákospalota-Újpest szakasz egyvágányú és rossz állapotú, Angyalföld elágazás és Rákosrendező elágazás között csak 40 km/h engedélyezett sebességű a pálya. Bár ez a szakasz biztosítja a tényleges észak–déli összeköttetést, korlátozott kapacitása jelentősen lecsökkenti a teljes hálózat átbocsátóképességét. Emellett az Angyalföld

⁹ Szászi Gábor: Nagyfolyami vasúti hidak, mint közlekedési létfontosságú rendszerelemek. In Horváth Attila – Bányász Péter – Orbók Ákos (szerk.): *Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről*. Budapest, NKE, 2014. 25–48.

és ezáltal a 2. és 4. sz. (Esztergom–Almásfüzitő) vonalak felé kapcsolatot biztosító, a 70. és 71. sz. (Budapest–Vác) vonalak felett átvezető, úgynevezett „Marcheggi híd” szintén egyvágányú, bár 2018-ban villamosítása már megtörtént.



1. ábra: A budapesti körvasút elemei

Forrás: http://bvs.hu/wp-content/uploads/2019/04/BRN_elsoszakcikk_v7.pdf

A *belső körvasút* a Városliget elágazás – Kőbánya-Teher – Kőbánya-Kispest vonalszakasz, amely egybeesik a 100. sz. (Budapest–Cegléd–Szolnok–Debrecen–Nyíregyháza) vonal budapesti szakaszával.

A körvasút harmadik jelentős szakasza a *déli körvasút*, a Ferencváros – Kőbánya-Kispest/Kőbánya felső állomásközök, amelyek szintén kétvágányúak, villamosítottak és automata térközbiztosító-berendezéssel felszereltek. Ezek a vonalszakaszok biztosítják a kelet–nyugati átjárhatóságot a fejpályaudvarok érintése nélkül.

A körvasút elemei közé tartozik még egy rövid szakasz, az úgynevezett „Királyvágány”, amely Kőbánya felső és Kőbánya-Teher állomások között teremt kapcsolatot, így biztosítja a közvetlen átjárást a 80. és 120. sz. vonalak felől a 100. sz. vonalon át a 70. sz. vonal felé. Ez egy 1,3 km hosszú, egyvágányú, villamosított vonalszakasz 30 km/h megengedett sebességgel. A vágányt ritkán használják, mert a Rákos – Rákospalota-Újpest vonalszakasz is használható erre az útirányra, ezért csak a helyettesíthetőség szempontjából van szerepe.

A körvasút részének tekinthető még a Nagy-Burma vágány (a Ferencváros és Soroksár állomásokat összekötő Kis-Burma vonalat 2006-ban teljesen elbontották). Ez a valaha két-, ma már csak egyvágányú vonalszakasz a 150. sz. vonal Soroksár állomását köti össze a 142. sz. (Budapest–Lajosmizse–Kecskemét) vonallal, Pestszentimre elágazásnál. A vonalat nem használják, utoljára 2001-ben, a 150. sz. vonal Soroksár–Ferencváros szakaszának felújításakor volt üzemben mint terelő útvonal. Állapota jelentősen leromlott, az engedélyezett sebesség jelenleg 0 km/h. A vonal további része – a Pestszentimre elágazás és Szemeretelep mrh.¹⁰ – közötti szakasz ma már nem járható, több helyen a vágány is hiányzik.

Barnamezős infrastruktúra-fejlesztés

A bemutatandó vizsgálatok alapgondolata, hogy a főváros vasúti elkerülésének olyan alternatíváit vizsgáljuk meg, amely nyomvonalakon már vezet vagy korábban vezetett vasútvonal, így csak a legszükségesebb építési költségek merülnek fel, ezáltal a beruházás alapvetően barnamezősként végezhető el. A fejlesztés iránya ugyanis csak kisebb részben új pálya építése (akár többnyire létező töltésen), az nagyobb részt pályasebesség-emelés, mivel a hálózat legnagyobb lemaradása ebben áll.¹¹

Egy matematikai modell segítségével vizsgáltuk meg az egyes nyomvonalváltoztatokat: arra keressük a választ, hogy melyik változat nyújtja a jobb megoldást a város elkerülésére. Figyelembe vettük a hálózatbeli összes állomáspár közti legrövidebb utak összhosszában, illetve összmenetidejében az egyes hidak által okozott csökkenést, az új hídon áthaladó menetvonalak arányát,¹² a hálózat legforgalmasabb állomásközének (azaz az Összekötő vasúti hídnak) a forgalmában okozott csökkenést (vagyis hogy ezek hány százaléka „választja inkább” az új hidat),¹³ valamint vizsgáltuk a hálózat minden egyes állomásközén okozott forgalomváltozást is, azaz a menetvonalak átstrukturálásának térbeli kiterjedését.

Vizsgálatunk kiterjed több, Budapestet elkerülő lehetséges nyomvonalváltozatra. Természetesen minden változat esetében szükséges új hálózati elemek építése, de mivel

¹⁰ mrh. – megálló-rakodóhely. Személy- és áruforgalomra berendezett nyíltvonali szolgálati hely (forgalomszabályozásra és/vagy kereskedelmi tevékenység végzésére kijelölt vasútüzemi terület). Lásd: MÁV Zrt. F.2. sz. Forgalmi Utasítás (NKH 85/6/2007), 1.2.59.

¹¹ Lakatos Péter – Szászi Gábor – Taksás Balázs: A logisztikai infrastruktúra szerepe a regionális versenyképesség alakításában. In Csath Magdolna (szerk.): *Regionális versenyképességi tanulmányok*. Budapest, NKE, 2016. 181–288.

¹² Tóth Bence: A magyarországi vasúthálózat zavarainak gráfelméleti alapú vizsgálata. In Horváth Balázs – Horváth Gábor – Gaál Bertalan (szerk.): *Közlekedéstudományi konferencia. Technika és technológia a fenntartható közlekedés szolgálatában*. Győr, Széchenyi István Egyetem Közlekedési Tanszék, 2018. 505–519.

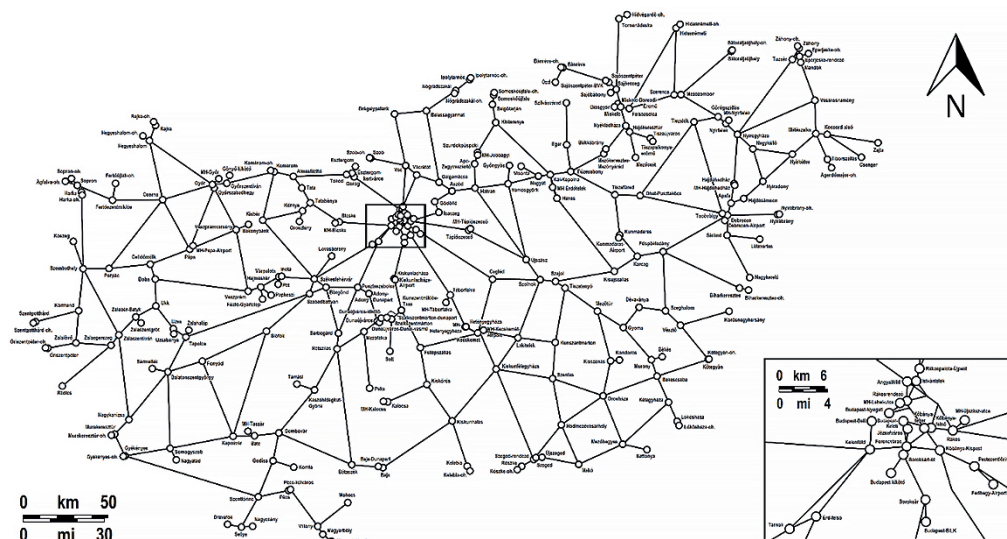
¹³ Tóth Bence: The effect of attacks on the railway network of Hungary. *Central European Journal of Operations Research*, (2020). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00684-8>

alapvetően barnamezős beruházásokat vizsgálunk, ezek mindig lényegesen kevesebb zöldmezős beruházást jelentenek, mint a teljes egészében zöldmezős V0 kiépítése.

A magyarországi vasúthálózat gráfmodellje

A számításokhoz használt matematikai modell korábban részletesen bemutatásra került,¹⁴ ezért itt csak a megértéséhez elengedhetetlenül szükséges részletességig tárgyaljuk azt.

A magyarországi vasúthálózat modellezésére egy élsúlyozott irányított gráfot használtunk. A gráf csúcsai olyan állomásoknak (szolgálati helyeknek) feleltek meg, ahol irányváltás lehetséges, a nyíltvonali megállóhelyek nem szerepeltek a modellben. Szintén nem szerepeltek az egyes vasútvonalak átmenő állomásai, csak az egyes vonalak elágazó, illetve csatlakozó állomásai és azon állomások, amelyek kiszolgált helységeiben a Magyar Honvédség egysége települt. Ez utóbbiak az MH bázisai vasúti elérhetőségének esetleges későbbi vizsgálata céljából lettek a modellbe beépítve.



2. ábra: A magyarországi vasúthálózat gráfmodelljének diagramja

Forrás: a szerzők szerkesztése

A gráf élei az ezen állomások közti vonalszakaszokat reprezentálták. Egy élhez kétféle súlyt rendeltünk: a legrövidebb út kiszámításához a megfelelő vonalszakasz hosszát,

¹⁴ Tóth Bence – Horváth István: How the Planned V0 Railway Line Would Increase the Resilience of the Railway Network of Hungary Against Attacks. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18. (2019), 3. 109–129.

a leggyorsabb menetvonal meghatározásakor pedig a vonalszakaszok hosszának és engedélyezett sebességének a hányadosát. Ez utóbbi egy menetidőnek feleltethető meg, azonban értéke egy alsó korlátot ad, mivel semmilyen sebességhatártást vagy gyorsítási/lassítási időt nem vesz figyelembe. Ha az engedélyezett sebesség értéke mozdonyal közlekedő szerelvényekre kisebb volt, mint motorvonatokra, akkor az előbbi, alacsonyabb értékkel számoltunk. A felhasznált adatok nyilvánosan elérhetők a Vasúti Pályakapacitás-elosztó Kft. weblapján.¹⁵ A modellbe beépítettük továbbá a Honvédség saját célú vasúti pályáit is, amelyek adatait a vonatkozó kormányrendelet¹⁶ tartalmazza.

Az állomásokon irányváltás nélkül történő áthaladásokkor nem számoltunk menetidő- vagy menetvonalhossz-növekedéssel. Irányváltás esetén 15 perccel megnöveltük a menetidőt, de távolság számításakor nem növeltük meg a menetvonal hosszát. A gráf diagramját a 2. ábrán láthatjuk.

Alkalmazott módszerek és mennyiségek

A vasúti közlekedésben bizonyos esetekben a megtett vonatkilométernek, más esetekben az eljutás idejének célszerűbb a lehető legkevesebbnek lenni. Előbbi eset a kereskedelmi célú vasúti szállítások egyik fő szempontja, ugyanis a közlekedtetési díj és a felsővezeték-használati díj is kilométeralapú, és mozdonyokat is gyakran munkanaponkénti fix összegért adnak bérbe. Egy különleges jogrendi időszak esetén azonban lényeges szempont lehet az idő: sok esetben előfordul, hogy a legrövidebb út nem a leggyorsabb.

A számításokat és az eredmények vizualizálását az *R* programozási nyelv és környezetben¹⁷ végeztük a Csárdi Gábor és Nepusz Tamás által kifejlesztett *igraph* csomag¹⁸ segítségével. A hálózatot leíró gráfot egy kétszlopú mátrixszal, egy úgynevezett állítással lehet megadni.¹⁹ Minden egyes sor egy állomásközt ír le, az első szám a kiinduló, a második az érkező állomás sorszáma. Minden ilyen élhez megadható egy súly is, egy, az élek számával egyező dimenziójú vektor segítségével, amely esetünkben vagy az egyes állomásköztök távolságát, vagy a megfelelő menetidőt tartalmazta. Két tetszőleges állomás között a távolságban vagy időben legrövidebb utat az *igraph* csomag *distances()* függvényével lehet meghatározni, amely pozitív értékekkel súlyozott gráfok esetében (amilyen az általunk használt is), alapértelmezésben a Dijkstra-algoritmust²⁰ használja

¹⁵ Lásd: www.vpe.hu/takt/vonal_lista.php

¹⁶ Lásd: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400277.kor>

¹⁷ R Core Team: *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Online: www.R-project.org/

¹⁸ Csárdi Gábor – Nepusz Tamás: The *igraph* software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695. Online: <http://igraph.org>

¹⁹ Tóth Bence: Állomások és állomásköztök zavarának gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton. *Hadmérnök*, 12. (2017), 4. 52–66.

²⁰ Edsger W. Dijkstra: A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1. (1959), 1. 269–271.

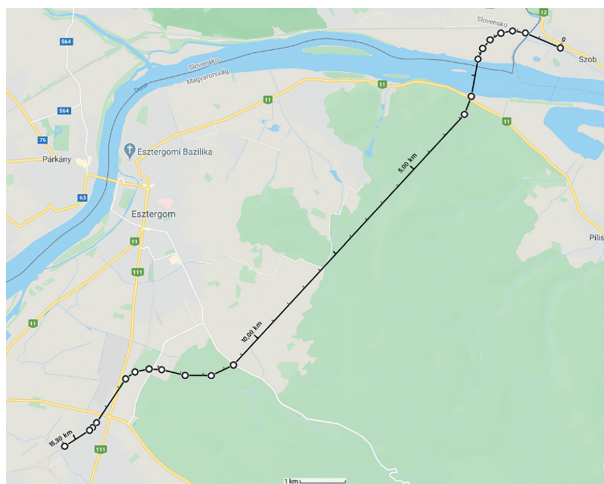
erre a feladatra. A *shortest_paths()* függvény segítségével az időben vagy távolságban legrövidebb út által érintett gráfbeli éleket és csúcsokat is meg lehet határozni, azaz azt, hogy a legrövidebb utak pontosan mely állomásokon és állomásközökön haladnak át.

Az új Duna-híd lehetséges helye

A következőkben északról dél felé haladva megvizsgáljuk a negyedik Duna-híd lehetséges helyét. Az egyes nyomvonalváltozatoknál bemutatjuk a pontos vonalvezetést, a hídon áthaladó menetvonalak térbeli eloszlását, azaz hogy az ország mely régióit összekötő optimális útvonalak haladnak át rajta, a híd hálózatba illesztésének hatását az egyes vonalszakaszok forgalmának változására, valamint azt, hogy a jelenleg legterheltebb átkelő kiesése esetén hogyan oszlik szét a rajta áthaladt forgalom a maradék három hídon.

Szob

A lehető legészakibb átkelési lehetőség megépítésére Szobnál van lehetőség. A modellünk szerint a hídra felvezető vágány Szob állomásból ágazik ki, és egy 90 fokos ívvel éri el a Dunát, amelyen áthaladva azonnal belép egy 7 km hosszú alagútba, amely után Esztergom-Kertvárosnál csatlakozik a 2. sz. vonalba (3. ábra).



3. ábra: A szobi Duna-híd és a kapcsolódó vasútvonal tervezett nyomvonala

Forrás: maps.google.hu

Mivel Szob határállomás, az Ipoly hídja után a nyomvonal már Szlovákia területén vezet. A korábbi kiágaztatás a Dunakanyar beépítettsége miatt csak még nagyobb mértékű

földmunkákkal lenne megoldható. A balparti hídfő tulajdonjogi kérdése ezért államközi megoldást igényel, de erre több alternatíva is elképzelhető. A legkézenfekvőbb a Losonc–Kalonda–Nagykürtös vonalhoz hasonló megoldás, amely szlovákiai kezdő- és végpontú vonal Ipolytarnóc és Nógrádszakál közti része Magyarország területén található, és a 78. sz. Aszód–Balassagyarmat–Ipolytarnóc vasútvonal részét képezi. A szlovák állami infrastruktúra-kezelő, a ŽSR, tehát passage vonalként²¹ használja. Ugyanez a modell, csak fordított felállásban, Szobnál is életképes lenne: a Szlovákia területén futó, az Ipoly-híd után a hídra felvezető 1,5 km-es szakasz passage vonalként üzemeltethető lenne. Ki kell azonban emelnünk, hogy ennek a vonalszakasznak nem lenne kapcsolata a szlovák vasúti hálózathoz, bár maga a vonal Szlovákiában ágazna ki a fővonalból.

Emellett költség szempontjából is ez a legkedvezőtlenebb alternatíva. A beépítettség miatt a jobbparti hídfőtől azonnal, 7 km-en át, alagútban kéne a vonalnak haladnia egészen Esztergom Diósvölgyig, ahonnan két ellenívvvel csatlakozna a 2. sz. vonalhoz Esztergom-Kertvárosnál.

Dunaföldvár

A 151a menetrendi mezőben szerepelt, 13 km hosszú egyvágányú, villamosítatlan Solt–Dunaföldvár vasútvonalat 1940-ben adták át a forgalomnak. A dunaföldvári hidat, amelyen áthaladt, eredetileg kizárólag közúti forgalomra tervezték, csak a vasútvonal megépülésekor fektették le a síneket, és alakították közös használatú átkeléssé. Az ország határain a trianoni döntés nyomán korábban már említett módon kívül került vasúti körgyűrű helyettesítésében játszott volna szerepet a híd, mivel a 151a vonalat egy „belső vasúti gyűrű” részének szánták. A vonal Solttól Fülöpszállás felé folytatódott volna (a vonal szelvényezése is Fülöpszállás állomáson kezdődött); de ez utóbbi szakasz sosem épült meg.

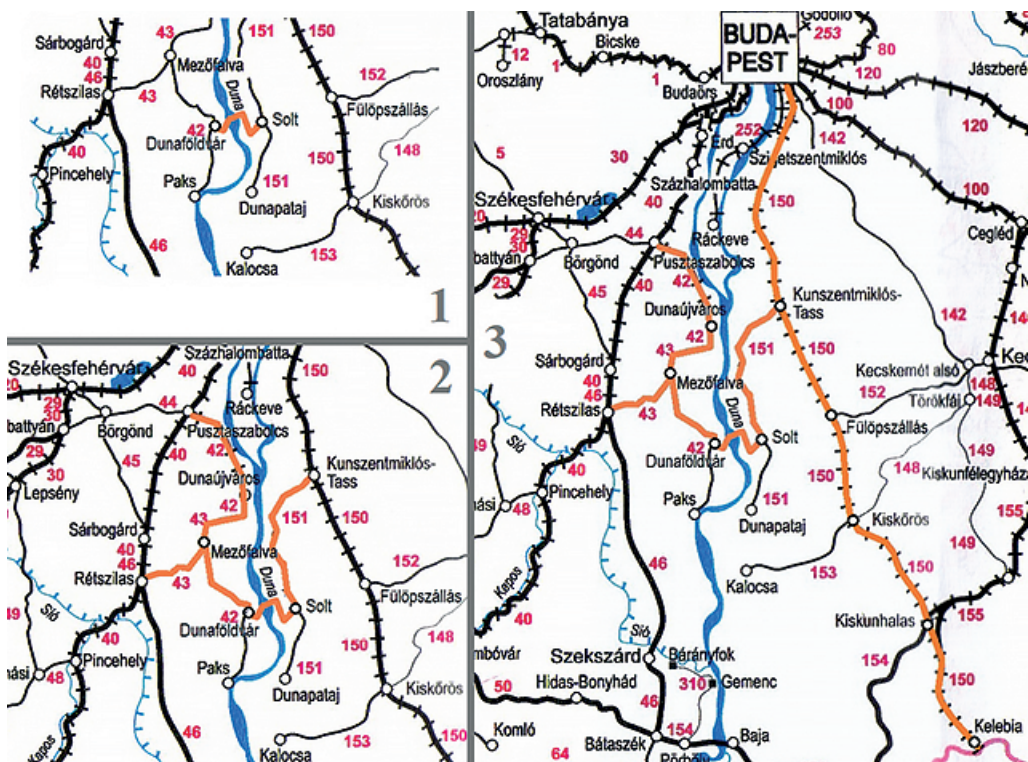
A Dunaföldvári hídnál 6 alternatívát vizsgáltunk. Az 1–3. alternatívák a Solt–Dunaföldvár pályaszakaszt az eredeti nyomvonallal vette figyelembe, és emellett csak meglévő vonalak engedélyezett sebességének megemelésével kalkulál, míg a 4–6. alternatívák a tervezett Fülöpszállás–Solt pályaszakasszal is számolnak.

Az 1., 2., 3. alternatíva

Az első három alternatíva esetén tehát csak a megszüntetett Dunaföldvár–Solt vonalszakasz létét feltételeztük a jelenlegi hálózati elemeken túl, mindhárom esetben azonos, a megszüntetéskori 13 km-es hosszal. Az 1. alternatíva a 151a vasútvonalat 60 km/h

²¹ A passage vonal olyan vasútvonal, amit a tulajdonos vasúttal együtt – használati szerződés alapján – egy másik vasút is saját vonalaként használ. Kerekes István – Péterfalvi József – Wimmer József: *Infrastruktúra és közlekedés*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, 2007. 101.

engedélyezett sebességgel veszi figyelembe a modellszámítások során. A 2. alternatíva a 151a vonalat is és a csatlakozó 42. sz. Pusztaszabolcs–Mezőfalva–Dunaföldvár–Paks, a 43. sz. Mezőfalva–Rétság és a 151. sz. Kunszentmiklós–Tass – Solt vonalat is 120 km/h-val járhatónak feltételezi. A 3. alternatíva ezeken túl a jelenleg fejlesztés alatt álló 150. sz. vasútvonalat is 120 km/h engedélyezett sebességgel veszi számításba (4. ábra).



4. ábra: A dunaföldvári hid 1., 2. és 3. alternatívái

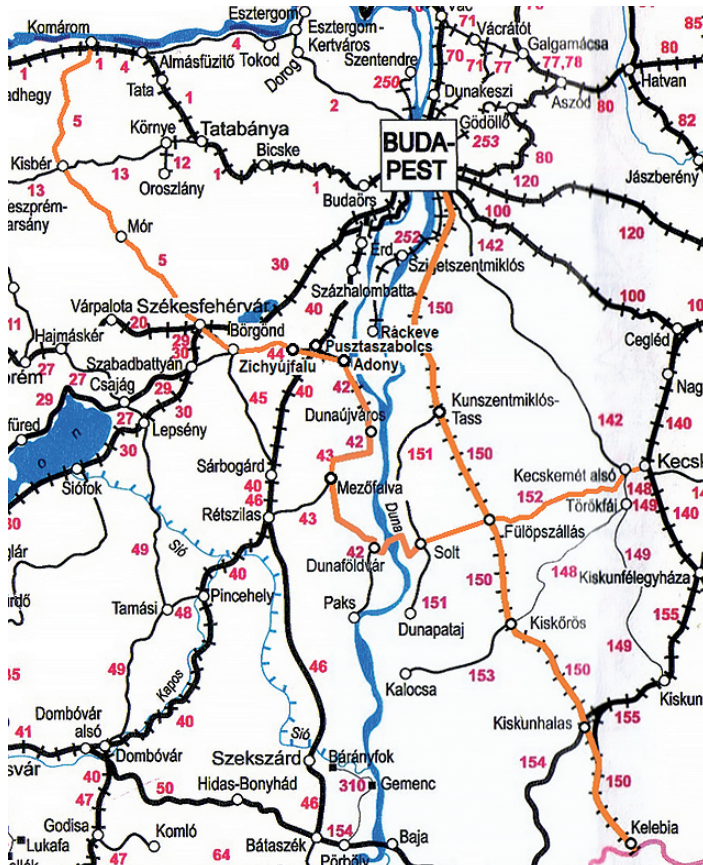
Megjegyzés: A fejlesztendő pályaszakaszok narancssárgával jelölve

Forrás: Vasúttérkép (www.logsiped.hu/vasutterkep.htm) alapján a szerzők szerkesztése

A 4., 5., 6. alternatíva

Ahogy majd az eredmények értékelésekor látni fogjuk, a 4., 5. és 6. alternatívát is célszerű az első háromhoz hasonlóan együtt vizsgálni. Mindhárom alternatíva feltételezi az 5. sz. (Székesfehérvár–Komárom), a 44. sz. (Pusztaszabolcs–Székesfehérvár), a 42. sz. (Mezőfalva–Rétság), a 150. és a 152. sz. (Fülöpszállás–Kecskemét) vonalak megengedett sebességének 120 km/h-ra emelését. Ezek a fejlesztések biztosítják a hálózat megfelelő átjárhatóságát kelet–nyugati irányban, mivel az újjáépített 151a vonal a kapcsolódó vonalak jelenlegi

állapota mellett elégtelen lenne a forgalom elvezetésére az Összekötő vasúti híd sérülése esetén. Mivel jelenleg az 1., 80., 100. és 120. sz. radiális vonalakon bonyolódik a forgalom jelentős része, az ezek közös pontját jelentő Duna-híd sérülése esetén szükséges, hogy a kerülő útirányt jelentő transzverzális vonalak ezekkel közel azonos átbocsátóképességűek legyenek, amelyet a vázolt fejlesztések biztosítanak.

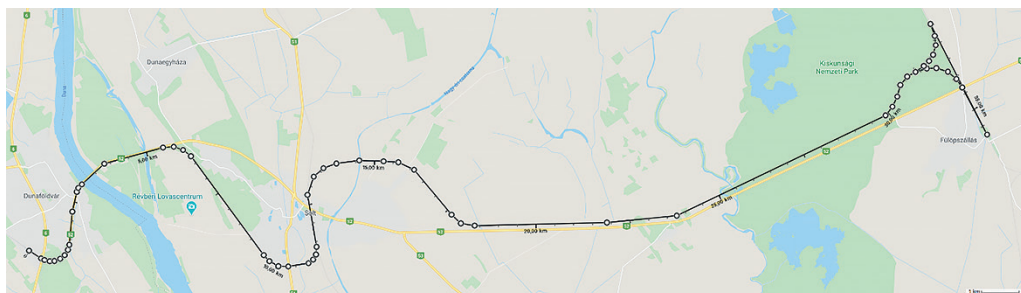


5. ábra: A dunaföldvári híd 4. 5., 6. alternatívái kapcsán fejlesztendő pályaszakaszok narancsszínnel jelölve

Forrás: www.logsped.hu/vasutterkep.htm alapján a szerzők szerkesztése

Újonnan építendő infrastruktúra csak a Dunaföldvár állomásból dél felé folytatódó pálya és annak a 150. sz. vasútvonalba 120 km/h sebességgel járható ívekkel történő csatlakozása Fülöpszállásnál egy deltavágánnyal mind észak, mind dél felé; valamint a 42. és 44. sz. vonalak összekötése Zichyújfalu és Adony között egy 40. sz. (Budapest–Pusztaszabolcs–Pécs) vonal fölötti műtárggyal, szintén 120 km/h megengedett sebességgel (5. ábra).

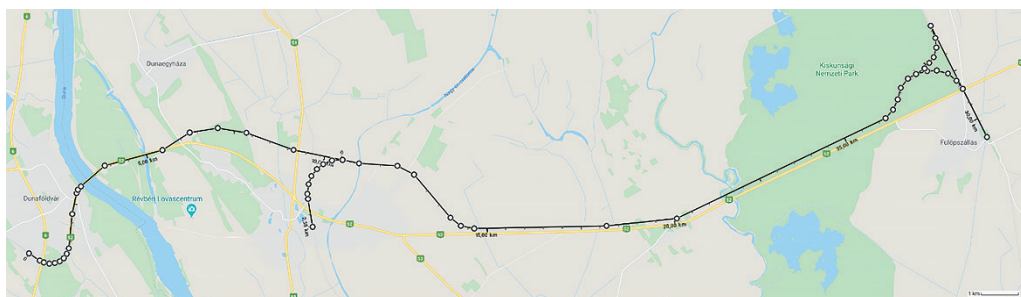
A 4. alternatíva (6. ábra) a 151a vonal eredeti nyomvonalán halad Dunaföldvár állomástól a jelenleg meglévő hídszerkezet közvetlen közelében, majd dél felé fordulva, majd visszakanyarodva délről éri el Solt állomást, amely után a 151. sz. vonalból kelet felé kiágazva az 52-es út mellett haladva éri el – összesen 31,4 km után – a 150. sz. vonalat. A szűk ívek miatt a Dunaföldvár–Solt szakasz csak 80 km/h-val járható.



6. ábra: A dunaföldvári hid és a kapcsolódó vasútvonal tervezett 4. alternatívájának nyomvonala

Forrás: maps.google.hu

Az 5. alternatíva (7. ábra) szintén a jelenlegi hídszerkezethnél keresztezi a Dunát, de a 4. alternatívával szemben északról kerüli meg Soltot és halad az 52-es út mellett a 4. alternatívával azonos nyomvonalon a 150. sz. vonalig. A vonalvezetés miatt a 151-es vonal keresztezése csak különszintűként valósítható meg, és Solt állomás csak Fülöpszállás irányából, egy 80 km/h megengedett sebességű kiágazással érhető el. A tervezett pályán egyetlen, 80 km/h-val járható ív található, közvetlenül Dunaföldvár állomás után, a vonal többi részén 120 km/h az megengedett sebesség.

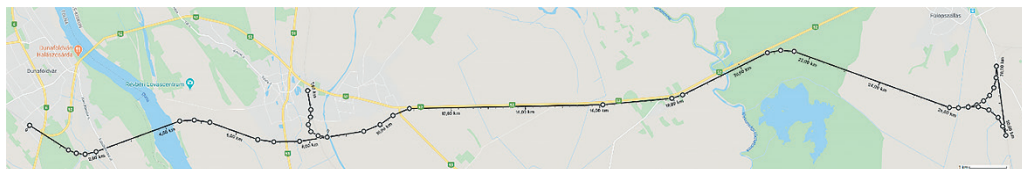


7. ábra: A dunaföldvári hid és a kapcsolódó vasútvonal tervezett 5. alternatívájának nyomvonala

Forrás: maps.google.hu

A 6. alternatíva (8. ábra) teljesen más nyomvonalat követ: itt a közúti és vasúti hidak térben el lennének választva. Ennek következtében az új 151a vonalon végig 120 km/h

lehet a megengedett sebesség, hiszen Dunaföldvár állomás után nincs szükség a szűk ívre a vasúti híd délebbre helyezése miatt. A vonal Soltot délről kerüli el, és Fülöpszállás irányából biztosít csatlakozást a 151. sz. vonal felé, ami azonban a beépítettség miatt csak egy 60 km/h-val járható ívvel valósítható meg.

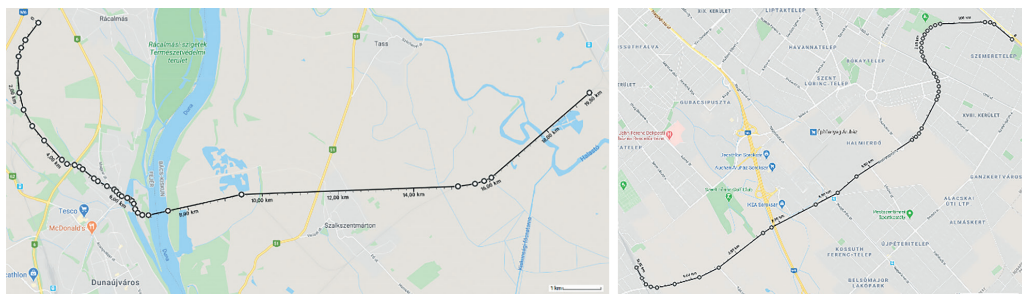


8. ábra: A dunaföldvári híd és a kapcsolódó vasútvonal tervezett 6. alternatívájának nyomvonala

Forrás: maps.google.hu

Dunaújváros

A dunaújvárosi híd egy valaha volt átkelő helyén, a TS uszályhíd²² hídfői között épülne meg. Az újonnan építendő pálya Rácalmásnál ágazik ki a 42. sz. vonalból, és a Szalki-szigetre vezető töltésen halad a TS uszályhíd hídfőjéig, a szigeten egy 60 km/h-val járható ívvel. A szalkszentmártoni hídfő után szintén meglévő töltésen halad, de a települést a jelenlegi vonaltól eltérően északról kerüli meg (9. ábra), és csatlakozik vissza a 151. sz. vonalba.



9. ábra: A dunaújvárosi híd és a kapcsolódó vasútvonal tervezett nyomvonala (b) és a budapesti Nagy-Burma vasút nyomvonala (j)

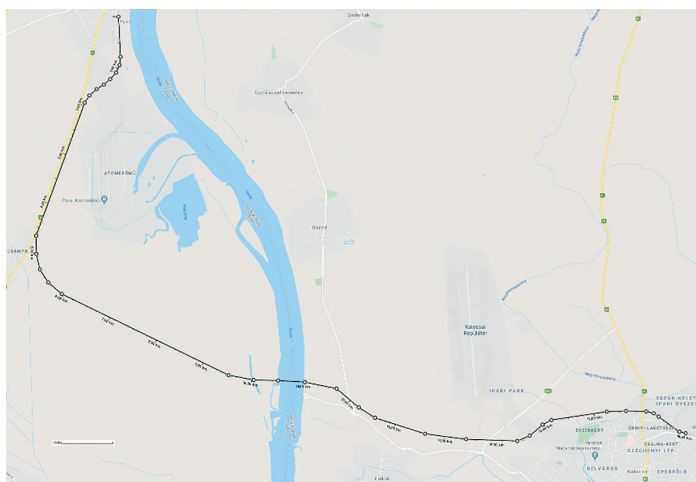
Forrás: maps.google.hu

²² Szászi Gábor: *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata*. PhD-értékezés. Budapest, NKE, 2013. 101.

Két alternatívát vizsgáltunk, az új szakasz az említett íven kívül mindkettőben 120 km/h-val járható. A 42., 44., 5., 150. sz. vonalak esetén szintén 120 km/h-val számoltunk, és az Adony és Zichyújfalu közti különszintű összeköttetést is figyelembe vettük. Az 1. alternatívában a budapesti Nagy-Burma vágány (8. ábra) 120 km/h-s pályává való újjáépítésével, a 2. alternatíva esetén pedig a 152. sz. vonal 120 km/h engedélyezett sebességűvé fejlesztésével számoltuk.

Paks

A paksi híd egy teljesen új átkelőként létesülne két Duna-parti vágánycsatlakozás között. A nyomvonalat a 42. sz. vonal paksi és a 153. sz. (Kiskőrös–Kalocsa) vonal kalocsai végállomása, pontosabban az abból kiágazó foktői iparvágány közé terveztük. Mivel a paksi atomerőmű rendszeresen használja a 42. sz. vonalat, ezért azok viszonylag jó állapotban vannak. Az erőművet nyugatról kell elkerülni a megfelelő védőtávolság²³ megtartása mellett, ezért a vonal a 6-os főút mellett fut. Az atomerőmű északi bejárójának keresztezése nem tervezhető szintbeninek, ezért Paks állomás végponti váltókörzete után a vágányok süllyesztését azonnal el kell kezdeni, hogy ezen 2–2,5 km alatt 5 m mélyre vihető legyen a vasút, ami 2–2,5 ‰-es esést jelent. Az atomerőművet és Paks II tervezett helyét délről elkerülve, Foktótól északra keresztezzük a Dunát, majd a növényolajgyár iparvágányával közös töltésen halad a vonal Paks állomásig. Ez összesen 18,9 km új pályát jelent (10. ábra).



10. ábra: A paksi Duna-híd és a kapcsolódó vasútvonal tervezett nyomvonala

Forrás: maps.google.hu

²³ Lásd: www.e-epites.hu/orszagos-teruletrendezesi-terv-terkepi-mellekletei-hatalyos-20190315-tol

A paksi híd esetén is két alternatívát vizsgáltunk. Mindkettő 120 km/h engedélyezett sebességgel tartalmazza az új pályát és a 42., 44., 5., 150., 153. sz. vonalak 120 km/h sebességre fejlesztését. Emellett az Adony-Zichyújfalu összeköttetés is része volt a modellnek.

Az 1. alternatíva esetén a 152. sz. vonal 120/h sebességűvé fejlesztését feltételeztük, míg a 2. alternatíva esetén a 153. sz. vonal 150-eshez való csatlakozásánál terveztünk egy deltavágányt Kiskunhalas felé, hogy a 155. sz. Kiskunhalas–Kiskunfélegyháza vonal irányváltás nélkül elérhető legyen.

Forgalmi ráterhelés

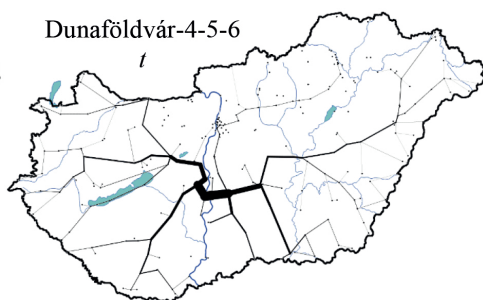
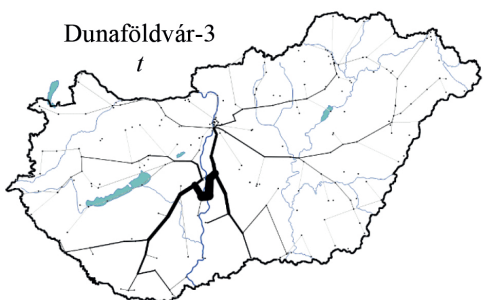
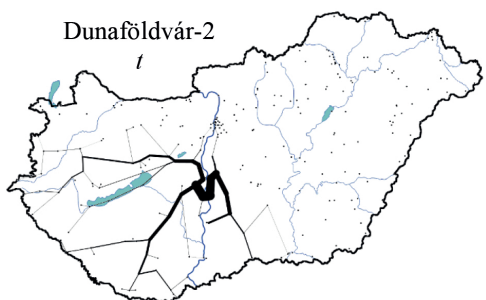
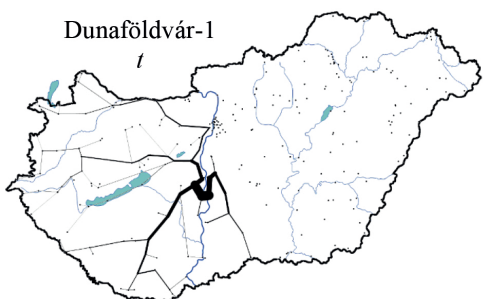
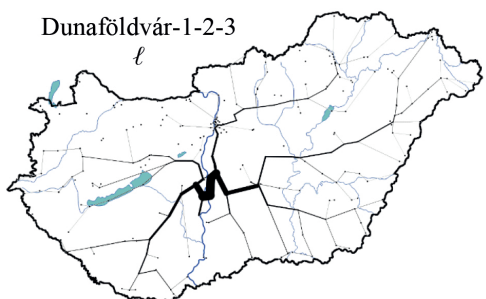
Az összes állomáspár között meghatározva a minimális hosszúságú, illetve minimális menetidejű menetvonalakat, kiválasztva azokat, amelyek áthaladnak az új hídon, és ezeket ábrázolva kapjuk a 11. ábrát.

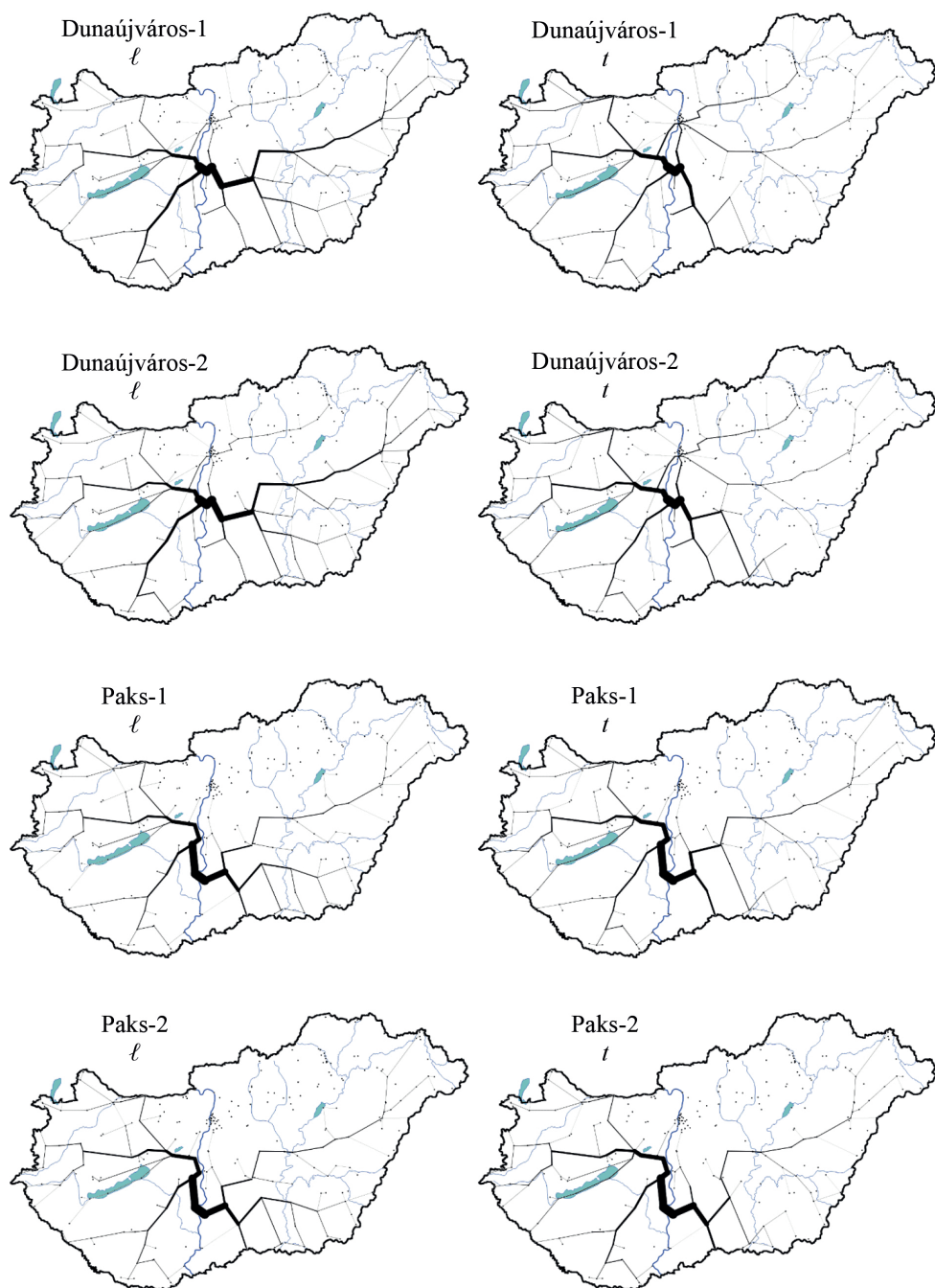
Azt láthatjuk, hogy a szobi híd (elhelyezkedéséből fakadóan) csak az északkeleti és északnyugati országrészek közti forgalmat vezeti át a Dunán, a délebbi végpontú menetvonalak továbbra is többnyire az Összekötő vasúti hídon haladnak át mind minimális út, mind minimális idő esetében.

A dunaföldvári hidat kiterjedten használja szinte az összes fővonalon haladó menetvonal a Duna átlépésére. Ugyanakkor az 1., 2. és 3. alternatívák esetén látszódik, hogy a 152. sz. vonal igénybevétele rendkívül intenzív minimális menetvonalhossz esetén, míg természetesen minimális menetidő esetén az alacsony pályasebesség miatt nem erre, hanem a 150. sz. vonalon haladnak, még akkor is, amikor ennek a sebessége nincs megemelve. A helyzet a 4., 5. és 6. alternatívák esetén alapvetően megváltozik, ugyanis ekkor már menetidőben is ez az útvonal lesz az optimális. Minimális menetidők esetén az 5. sz. vonal is jelentős irányokat köt össze, mivel ekkor már érdemesebb ezen keresztül közlekedni, mint Kelenföldön át irányváltással. Részben azonban emiatt is az északkeleti országrészből kevés menetvonal halad erre, azok jobbára az Összekötő vasúti hídon közlekednek.

A dunaújvárosi híd az, amelyik lényegében az „egész országot kiszolgálja”, mivel az ország összes régiójából haladnak át rajta menetvonalak. A két alternatíva esetében gyakorlatilag azonos a menetvonalak földrajzi eloszlásának aránya, leszámítva a menetidőket figyelembe vevő számítás esetében a 152. sz. vonal, illetve a Nagy-Burma kiépítéséből származó triviális különbséget.

A paksi hídon, mivel ez a legdélibb átkelő, inkább a déli régiókat összekötő menetvonalak haladnak át. Viszont a számítások azt mutatják, hogy még hegyeshalmi, illetve záhonyi menetvonalak is érintik, ami azt jelzi, hogy még ez is valós alternatívája lehet az Összekötő vasúti hídnak. Ennek oka a csatlakozó vonalak sebességének megemelésében keresendő, amelyeken keresztül az átkelő gyorsan elérhető.





11. ábra: Az egyes hidakon átvezető menetvonalak térbeli eloszlása

Megjegyzés: A vonalak vastagsága arányos a menetvonalak számával úgy, hogy a hídon átvezető érték a 100%

Forrás: a szerzők szerkesztése

Azonban a számszerű forgalomértékeket vizsgálva (1. táblázat) a kép árnyaltabbá válik: a paksi hídon az összes menetvonalnak mindössze 1,5%-a halad át mindkét alternatíva esetén, ami rendkívül kevés. Vagyis lényegében csak azon a menetvonalak esetében célszerű ezt az átkelőt választani, amelyek a híd közvetlen környezetében fekvő állomásokat kötnék össze a Duna ellentétes partján fekvő távolabbi régiókkal.

A dunaföldvári híd 4., 5., 6. és a dunaújvárosi híd mindkét alternatívája esetében az összes menetvonal 5,5%-a halad át minimális menetidők esetén. Ami meglepőnek tűnik elsőre az az, hogy a 3. dunaföldvári alternatíva esetén ez a szám közel 8%. Ennek oka a csatlakozó vonalak sebességemelésében keresendő: amíg a 150., 44. és 5. sz. vonalakon az engedélyezett sebesség változatlan, a menetvonalak inkább a dunaföldvári hídon haladnak át, hogy elkerüljék a lassú 150. sz. vonalon a Budapestre való bejutást, de amint ezen a vonalakon is gyorsabban lehet haladni, ismét az Összekötő vasúti híd válik preferálttá. A dunaújvárosi híd esetében a csatlakozó vonalakat eleve magasabb sebességgel vettük figyelembe, vagyis kihasználtság szempontjából ez a híd északibb elhelyezkedésétől függetlenül lényegében azonos a dunaföldvárival.

A szobi hidat ugyanakkor az összes menetvonal 8,5%-a veszi igénybe, vagyis annak ellenére, hogy csak az északi országrészek közti átjárhatóságot biztosítja, ebben a szerepében egy meghatározó hálózati elem, és nagyrészt kiváltja az Újpesti vasúti hidat.

A dunaújvárosi és a dunaföldvári hidak az Összekötő vasúti híd tehermentesítésében is hasonlóan jelentős szerepet játszanak: a 2. dunaújvárosi alternatíva esetén – minimális menetidők mellett – 9, minimális távolságok mellett 19%-kal csökkenne a budapesti híd forgalma; a dunaföldvári híd 4–6. alternatívája esetén ezek a számok 11, illetve szintén 19%. Ez azt jelenti, hogy a legrövidebb menetvonalaknak csak a fele lenne gyorsabb ezen az úton, mint Budapesten át, vagyis a jelentős távolságbeli kitérőt csak részben tudja kompenzálni a kiterjedt pályasebesség-emelés.

A szobi híd meglepő módon fordított viselkedést mutat: a minimális hosszúságú menetvonalak 7, minimális menetidejűek esetében 17%-os csökkenést okozna az Összekötő vasúti hídon. Azon minimális menetidejű menetvonalak 60%-a, amelyek ezen az úton gyorsabbak, kilométerben hosszabb utat tesznek meg, vagyis a csatlakozó vonalak fejlesztése jelentős menetidő-megtakarítást okoz Budapest elkerülésével.

Eddig azonban a rövid és a hosszú, a lassú és a gyors menetvonalakat azonosan kezeltük. De a rövid és lassú menetvonalak gyorsabbá tétele sem olyan jelentős a hálózat egésze szempontjából, mintha egy csak lassú menetvonalakkal összekötött régió összes menetvonalában menetidő-csökkenést érnénk el. Ennek mérésére az összes állomáspár közti összes legrövidebb menetvonal hosszát, illetve összes leggyorsabb menetvonal menetidejét összeadva határozzuk meg a csökkenést a negyedik Duna-híd jelenlétében, illetve anélkül.

A teljes hálózatra gyakorolt hatásában a két dunaújvárosi és a 4–6. dunaföldvári alternatíva kiemelkedő: a hálózat összmenetvonal-hosszában ezek okoznak 0,8%-nál, az összmenetidőben pedig 0,6%-nál nagyobb csökkenést. Ennek egyik oka az előbbieken látott viselkedés: mivel sok, korábban Budapesten áthaladó menetvonal halad át ezen a két hídon, ezért az ezeken okozott hosszbeli, illetve menetidőbeli csökkenés összeadódik.

A 2. dunaföldvári alternatíva és a szobi híd ezen a téren csak közepes, 0,4% körüli csökkenést okoz, annak ellenére, hogy a hidak forgalma nagyjából azonos, vagy még valamivel magasabb is az előzőeknél. Vagyis a forgalomcsökkentő hatás nem feltétlenül okoz jelentős csökkenést a menetidőkben. Az 1. és 3. dunaföldvári vagy a két paksi alternatíva megépítése csak minimális, 0,1–0,3% közötti csökkenést eredményezne a teljes hálózat összmenetidejében és összmenetvonal-hosszában, ami a hidak kihasználtságát figyelembe véve egyáltalán nem meglepő.

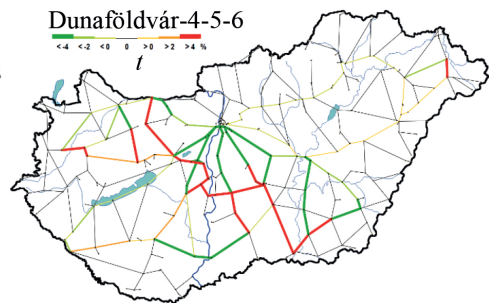
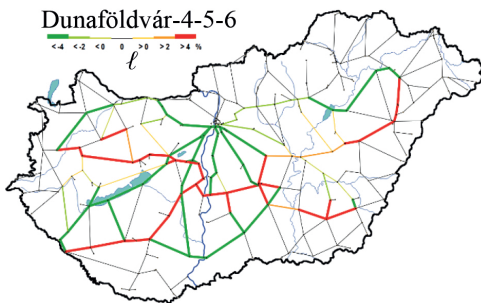
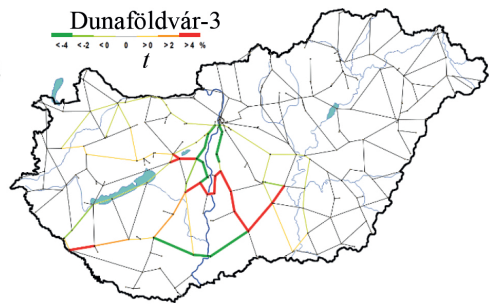
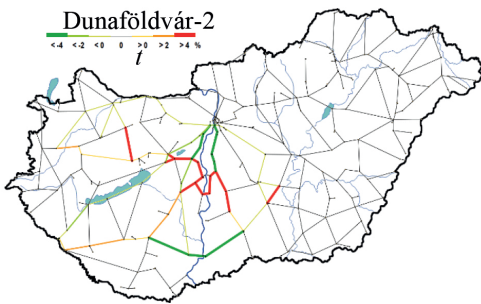
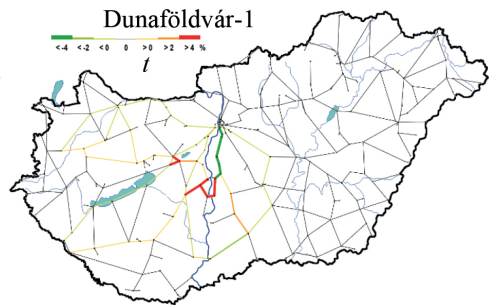
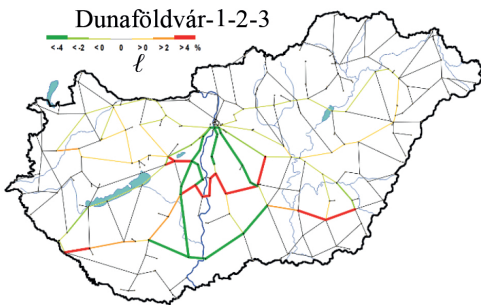
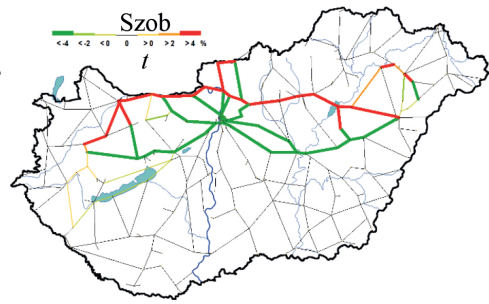
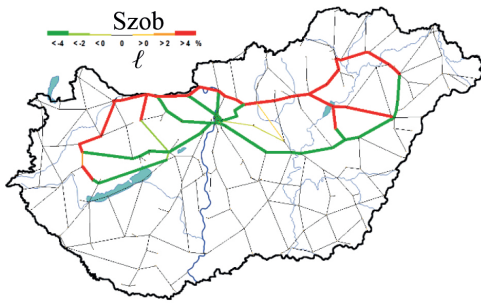
1. táblázat: Az egyes hídalternatívák által a forgalmat jellemző mérőszámokban okozott változás

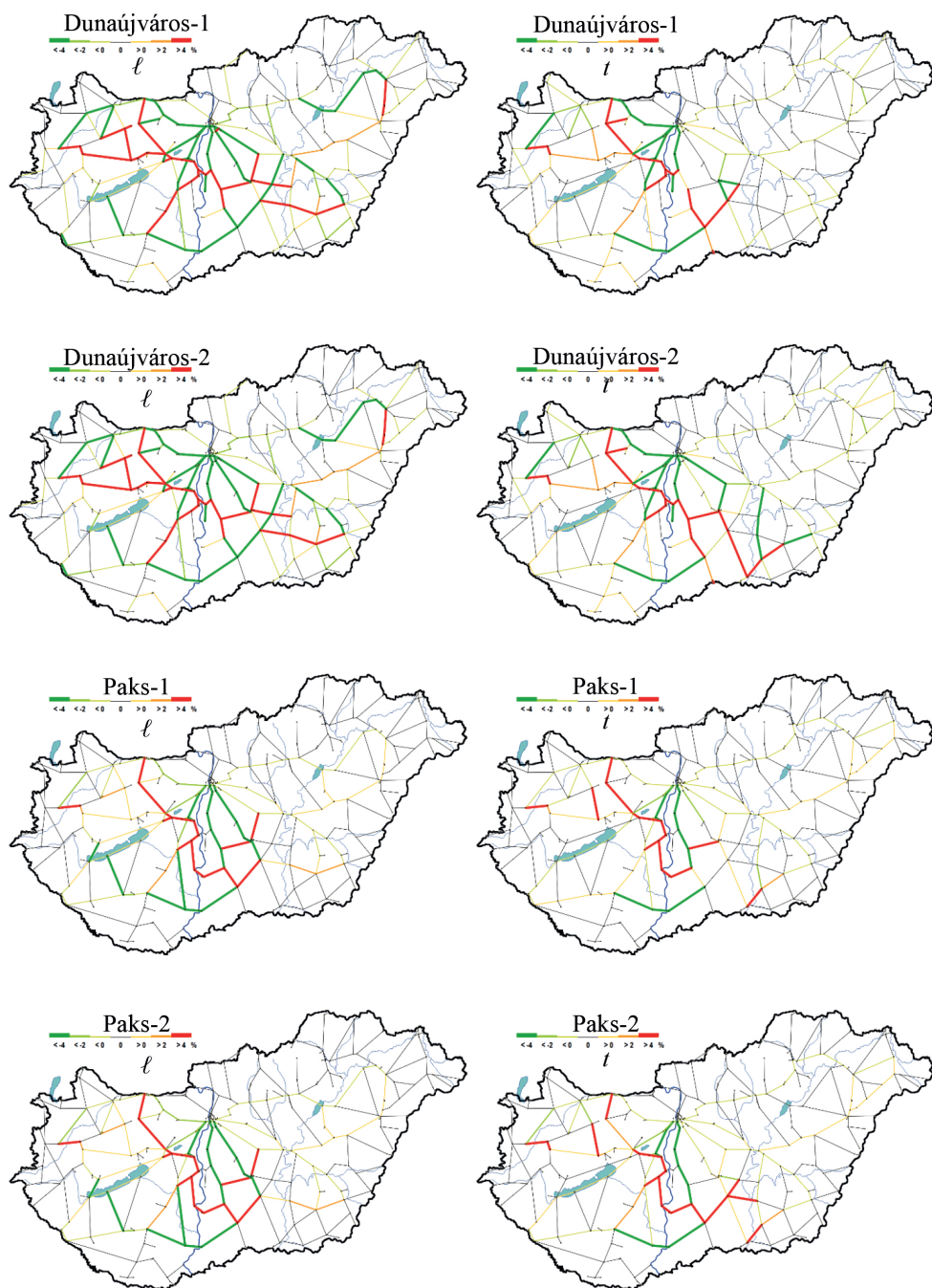
Alternatíva	Szob		Dunaföldvár									
	távolság	idő	távolság				idő					
			1–3.	4.	5.	6.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Az összes minimális menetvonal összhosszának/összmenetidejének százalékos csökkenése az új híd hálózatba helyezésével	0,57	0,80	0,41	0,88	0,92	1,02	0,12	0,41	0,12	0,70	0,84	0,87
A legforgalmasabb állomásközön áthaladó menetvonalak számának százalékos csökkenése az új híd hálózatba helyezésével	6,86	17,47	6,16	18,88	19,49	19,68	1,22	6,16	1,22	10,95	11,72	11,64
Az új hidat érintő menetvonalak százalékos aránya	8,52	8,47	7,92	7,80	8,02	8,75	7,46	7,92	7,46	5,19	5,53	5,52

Alternatíva	Dunaújváros				Paks			
	távolság		idő		távolság		idő	
	1.	2.	1	2.	1.	2.	1.	2.
Az összes minimális menetvonal összhosszának/összmenetidejének százalékos csökkenése az új híd hálózatba helyezésével	1,01	1,01	0,65	0,73	0,28	0,28	0,29	0,31
A legforgalmasabb állomásközön áthaladó menetvonalak számának százalékos csökkenése az új híd hálózatba helyezésével	19,29	19,15	6,58	9,00	3,28	3,29	3,14	3,14
Az új hidat érintő menetvonalak százalékos aránya	8,38	8,28	4,13	5,12	1,55	1,55	1,57	1,71

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 12. ábra a vizsgálat eredményeit, az egyes vonalszakaszok forgalmának változását, az egyes hidak forgalomátrendező hatását szemlélteti. A szobi híd a 100. és 20. sz. (Székesfehérvár–Szombathely) vonalakról „vonzza” át a menetvonalakat a 2., 4. és 80. sz. vonalakra, vagyis az északi országrészek közti forgalmat északabbra vezeti. Míg azonban ennek a hídnak a hatása távoli régiókra is kiterjed, addig az 1–3. dunaföldvári alternatíva csak a híd közvetlen közelében haladó menetvonalakat vezeti át, a hosszabbak a jelenlegi útvonalukon haladnak. Ez viszont, mint láttuk, egyik esetben sem volt elegendő a hálózat összmenetidejének jelentős csökkentésére.





12. ábra: A hidak és alternatíváik által az egyes vonalszakaszokon okozott forgalomváltozás a jelenlegi állapothoz képest

Forrás: a szerzők szerkesztése

Ezzel szemben a 4–6. dunaföldvári alternatívák már jelentős forgalomcsökkenést eredményeznek a Budapestre bevezető fővonalakon és a bajai hídon, többnyire a Délkelet- és Délnyugat-Magyarország közti forgalmat bonyolítva rövidebb és gyorsabb úton. Ez a híd tehát a menetvonalakat az ország középső régiói felé tereli, az 1. fővonalról a 20-asra, a 80-asról a 100-asra.

Hasonlót eredményez a két dunaújvárosi alternatíva, de a Budapesthez való közelség miatt inkább az északnyugat–délkelet útvonal fővárost elkerülő alternatívájaként szolgál, az északkeleti és délnyugati országrész forgalmát csak kismértékben befolyásolja.

A paksi híd két alternatívája azonban csak lokális forgalomváltozást eredményez. A fővárosba behaladó menetvonalak számában okozott csökkenés a híd kis kihasználtsága miatt eleve jelképes, érezhető hatása csak Komáromig, illetve a 140. sz. (Cegléd–Szeged) fővonalig terjed.

Összefoglalás

A Budapesten futó vasútvonalak leterheltsége a nagy elővárosi személy- és az átmenő, kelet–nyugati irányú tehervonatok miatt jelentős, bizonyos időszakokban az UIC²⁴ által meghatározott normák szerint már túlterhelt. Különösen igaz ez az Összekötő vasúti hídra, amely már kapacitása határán üzemel, ezért szükséges az átmenő vasúti forgalom csökkentése.

11 alternatívát vizsgáltunk meg matematikai modellezés segítségével, hogy válaszolni tudjunk a felvetésekre. Egy Szobnál, Dunaújvárosnál, Dunaföldvárnál vagy Paksnál megépítendő átkelő közül a számítások alapján egy Dunaújvárosnál, a TS uszályhíd egykori helyén, vagy Dunaföldvárnál, a valamikori hídnál kedvezőbb nyomvonalon újra megépítendő hidat tartjuk az optimális választásnak.

Fontos kiemelni, hogy az általunk bemutatott megoldások mindegyike beruházás, így költségekkel jár, ugyanakkor ezek lényegesen kisebbek, mintha egy több mint 100 km-es, teljesen új vonalat kellene építeni dunai átkeléssel. A lehetséges 5 alternatíva közül pénzügyi, megvalósíthatósági alapon célszerű választani, mivel ezek az ország védelmi felkészítését, a létfontosságú rendszerlemek helyettesíthetőségével szemben támasztott követelményeket lényegében azonos színvonalon támogatják.

Egy negyedik, infrastruktúrájában csak az Összekötő vasúti híddal összemérhető átkelő elengedhetetlen a vasúthálózat zavartalan működésének mindenkorai biztosításához.

²⁴ Union Internationale des Chemin de Fer – Nemzetközi Vasútegylet.

Felhasznált irodalom

2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről.
- Berényi János – Lévai Zsolt: CORCAP – a környezetbarát áruszállítási folyosók kialakítása útján. In Horváth Balázs – Horváth Gábor (szerk.): *X. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia. X. International Conference On Transport Sciences*. Győr, Széchenyi István Egyetem Közlekedési Tanszék – Közlekedéstudományi Egyesület, 2020.
- Csárdi Gábor – Nepusz Tamás: The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695. Online: <http://igraph.org>
- Dijkstra, Edsger W.: A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1. (1959), 1. 269–271. Online: <https://doi.org/10.1007/bf01386390>
- Horváth Attila: A közúti, vasúti és vízi közlekedés terrorfenyegetettségének jellemzői. In Tálas Péter (szerk.): *A politikai marketing fogságában*. Budapest, Mágustúdió, 2006. 321–336.
http://bvs.hu/wp-content/uploads/2019/04/BRN_elsoszacikk_v7.pdf
www.logsped.hu/vasutterkep.htm
www.vpe.hu/takt/vonal_lista.php
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400277.kor>
www.e-epites.hu/orszag-os-teruletrendezesi-terv-terkepi-mellekletei-hatalyos-20190315-tol
www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_odmv003.html
- Kerekes István – Péterfalvi József – Wimmer József: *Infrastruktúra és közlekedés*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, 2007.
- Lakatos Péter – Szászi Gábor – Taksás Balázs: A logisztikai infrastruktúra szerepe a regionális versenyképesség alakításában. In Csath Magdolna (szerk.): *Regionális versenyképességi tanulmányok*. Budapest, NKE, 2016. 181–288.
- Lévai Zsolt: A vasúti alágazat jelenkori kapcsolódása a közlekedési támogatás rendszeréhez. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 1–2. 198–223. Online: [10.30583/2020/1-2/198](https://doi.org/10.30583/2020/1-2/198)
- MÁV Zrt. F.2. sz. Forgalmi Utasítás (NKH 85/6/2007), 1.2.59.
- R Core Team: *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Online: www.R-project.org/
- Szászi Gábor: *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata*. PhD-értekezés. Budapest, NKE, 2013. Online: [10.17625/NKE.2014.028](https://doi.org/10.17625/NKE.2014.028)
- Szászi Gábor: Katonai vasúti szállítások a Magyar Honvédség missziós feladatainak rendszerében. *Szolnoki Tudományos Közlemények XVI.*, (2010). 101–118.
- Szászi Gábor: Long-span railway bridges in the transport system of Hungary. *Hadmérnök*, 8. (2013), 2. 98–107.
- Szászi Gábor: Magyarország közlekedési infrastruktúrájának fejlesztése napjainkban: Közút vagy vasút? *Katonai Logisztika*, 15. (2007), 2. 32–59.
- Szászi Gábor: Nagyfolyami vasúti hidak, mint közlekedési létfontosságú rendszerelemek. In Horváth Attila – Bányász Péter – Orbók Ákos (szerk.): *Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről*. Budapest, NKE, 2014. 25–48.
- Tóth Bence – Horváth István: How the Planned V0 Railway Line Would Increase the Resilience of the Railway Network of Hungary Against Attacks. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18. (2019), 3. 109–129. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2019.3.6>

- Tóth Bence: A magyarországi vasúthálózat zavarainak gráfelméleti alapú vizsgálata. In Horváth Balázs – Horváth Gábor – Gaál Bertalan (szerk.): *Közlekedéstudományi konferencia. Technika és technológia a fenntartható közlekedés szolgáltatában*. Győr, Széchenyi István Egyetem Közlekedési Tanszék, 2018. 505–519.
- Tóth Bence: Állomások és állomásközpontok zavarának gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton. *Hadmérnök*, 12. (2017), 4. 52–66.
- Tóth Bence: The effect of attacks on the railway network of Hungary. *Central European Journal of Operations Research*, (2020). Online: <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00684-8>