HADMÉRNÖK
KATONAI LOGISZTIKA ÉS KÖZLEKEDÉS

19. évfolyam (2024) 3. szám 49–66.
DOI: 10.32567/hm.2024.3.4

Aradi István Tamás[1] – Tóth Bence[2]

A Magyar Honvédség szállítási képességeinek elemzése villamosítatlan vasútvonalakon

The Transportation Capabilities of the Hungarian Army using Unelectrified Railway Lines

Absztrakt

A Magyar Honvédség saját célú vasúti pályái mind villamosítatlanok. Emiatt a dízelvontatás alkalmazása elkerülhetetlen, miközben a nemzetközi trend a vasútvonalak villamosítása annak környezetbarát volta miatt. Ugyanakkor különleges jogrendi helyzetben fel kell készülni a villamos vontatás zavarára is megfelelő mennyiségű és képességű dízelmozdony fenntartásával. Cikkünkben megvizsgáljuk a hálózat átbocsátóképességének növekedését, ha a villamosított vonalak mellett a villamosítatlanokat is figyelembe vesszük. Továbbá meghatározzuk a Magyar Honvédség (MH) maximális szállítási kapacitását, és javaslatot teszünk a kapacitás növelésének módjaira.

Kulcsszavak: vasúthálózat, gráfelmélet, átbocsátóképesség, kapacitás, Magyar Honvédség, villamosítás

Abstract

The railway sidings owned by the Hungarian Army are not electrified. This makes the use of diesel engines unavoidable while the international trend is to electrify as many lines as possible due to its environment friendly nature. However, in the case of an emergency situation one must be prepared for the disruption of the power supply by maintaining

[1] Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: aistvan26@gmail.com
[2] Nemzeti Közszolgálati Egyetem, e-mail: toth.bence@uni-nke.hu

enough diesel locomotives. In this paper, the increase in the capacity of the railway network of Hungary is determined if not only the electrified but also the unelectrified lines are taken into account. Furthermore, the maximal transportation capacity of the Hungarian Army is determined suggestions are made to improve it.

Keywords: railway network; graph theory; flow; capacity; Hungarian Army; electrification

Bevezetés

Napjainkban a katonai logisztikai műveleteket egyre nagyobb mértékben a polgári infastruktúra- és szállítóeszköz-állományra hagyatkozva tervezik. Ez igaz az olyan létfontosságú rendszerelemekre is, mint a vasúti közlekedési hálózat és az azon közlekedő gördülőállomány.[3] A polgári vasúti szállítás pedig egyre inkább áttér a villamos vontatásra, amely olcsóbb, mint a dízelvontatás és emellett környezetbarátabb is annál. Az egyes országok vasúthálózatának fejlettségét éppen ezért annak villamosítottsági arányával is szokás jellemezni. Ez az érték Magyarország esetében 40,8%, amivel tizenhatodikok vagyunk az EU-n belül. A mutató a legalacsonyabb Írország esetén (2,6%), míg a kontinensen Svájc esetében a legmagasabb (99,8%).[4] Ugyanakkor a védelmi szempontok meghatározásakor az egyes alrendszerek sérülésével is számolni kell, ami a vasúti közlekedésben a villanymozdonyok megfelelő dízelmeghajtású helyettesíthetőségének biztosítását jelenti.

A Magyar Honvédség (MH) rendelkezik 12 iparvágánnyal, úgynevezett saját célú vasúti pályával (scvp) [277/2014. (XI. 14.) Korm. rendelet], amelyek mind villamosítatlanok, ezért az ezen iparvágányokat érintő szállításoknál elkerülhetetlen a dízel vontatójárművek alkalmazása.

A magyarországi vasúthálózat jelentősebb vonalai (többnyire) villamosítottak,[5] és a villamos vontatás lényegesen olcsóbb is, mint a dízel, ezért a használható dízelmozdonyok száma a vasútvillamosítás előrehaladtával csökken.[6] Az előzőek alapján azonban honvédelmi érdek legalább annyinak a rendszerben tartása, amennyivel a szükséges szállítások a felsővezeték-hálózat nélkül is elvégezhetők lennének.

Cikkünkben megvizsgáljuk a magyarországi vasúthálózat átbocsátóképességét a határátmenetek között arra az esetre, amikor csak a villamosított vonalakat vesszük figyelembe, valamint meghatározzuk a kapacitásnövekményt, ha a villamosítatlan vonalakat is használhatjuk. Meghatározzuk továbbá az MH scvp-k között lebonyolítható maximális forgalmat különböző forgatókönyvek esetén. Célunk annak feltárása egy matematikai modell alapján, hogy mi(k) a vasúti közlekedési rendszer szűk keresztmetszete(i): a pálya és/vagy a gördülőállomány és/vagy a humán erőforrás (rakodási kapacitás)? Szem előtt kell tartani ugyanakkor, hogy a katonai szállítási feladatok végrehajtása során ezen elemzési eljárások sok esetben csak a speciális honvédelmi igények figyelembevétele mellett, azok integrálásával alkalmazhatók.

[3] Szászi 2013a.
[4] Eurostat 2024a; Eurostat 2024b.
[5] Tóth 2018.
[6] Szászi 2013b.

A magyarországi vasúthálózat térköz szintű gráfmodellje

A számítások elvégzéséhez egy súlyozott irányított gráfot használtunk. A modellt egy korábbi publikációban részletesen bemutattuk,[7] ezért itt csak a megértéshez elengedhetetlenül szükséges részletességgel ismertetjük azt.

Jelzők és vágánykapcsolataik

A hálózati modell 5188 gráfcsúcsot tartalmazott, amelyekből 1491 csúcs állomási kijárati jelzőt, 1687 csúcs bejárati jelzőt, 1896 csúcs térközjelzőt, 114 csúcs pedig egyéb vágánykapcsolati pontot (például határátmenet, iparvágány) reprezentált.

A fenti gráfpontok közti vágánykapcsolatokat 6803 gráfbeli éllel írtuk le. Két jelző között a menetidőt az egyes csúcsok valós fizikai távolságából és a köztük lévő vasúti pályára engedélyezett sebességből számítottuk ki. Ezen adatok nagyrészt nyilvánosan elérhetőek a VPE Kft. weblapján;[8] az itt nem szereplő iparvágányok hosszadatait a vonatkozó kormányrendelet [277/2014. (XI. 14.) Korm. rendelet] alapján, illetve saját távolságmérés alapján[9] építettük be a modellbe.

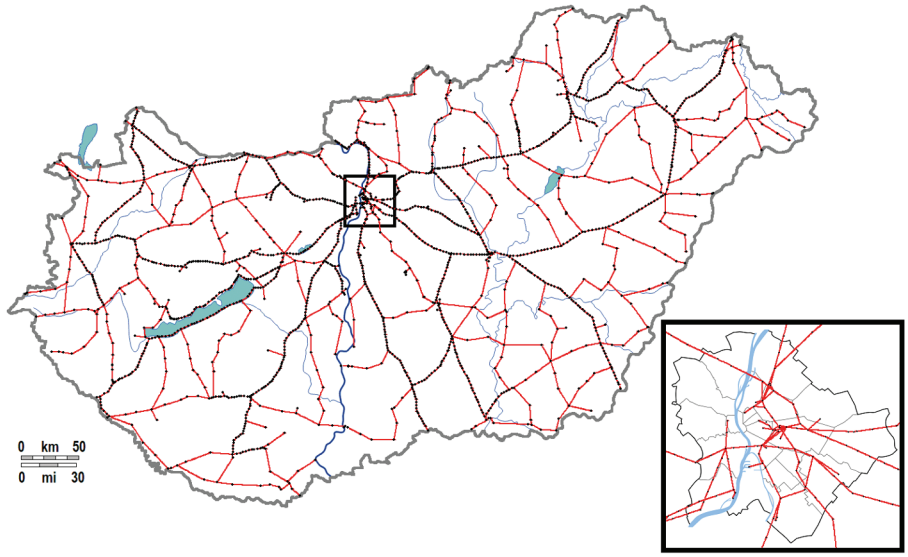
Ezen távolság- és menetidőértékeket rendeltük hozzá az egyes vasútvonalszakaszokat reprezentáló gráfbeli élekhez mint súlyokat (természetesen egy számításnál egyszerre csak az egyiket). Ebből következően a menetvonalak számított hosszai néhány méteres pontossággal megegyeznek a valós értékekkel. A számított menetidőértékek ugyanakkor a valós értékeknek egy abszolút alsó korlátját jelentik, mivel például a pálya állapotából fakadóan kitűzött lassújeleket nem építettük be a modellbe. Ahol kisebb engedélyezettsebesség-érték vonatkozott a nagyobb tengelyterhelésű vagy a mozdonnyal továbbított szerelvényekre, ott ezt az alacsonyabb sebességértéket vettük alapul a számításokhoz.

Állomások

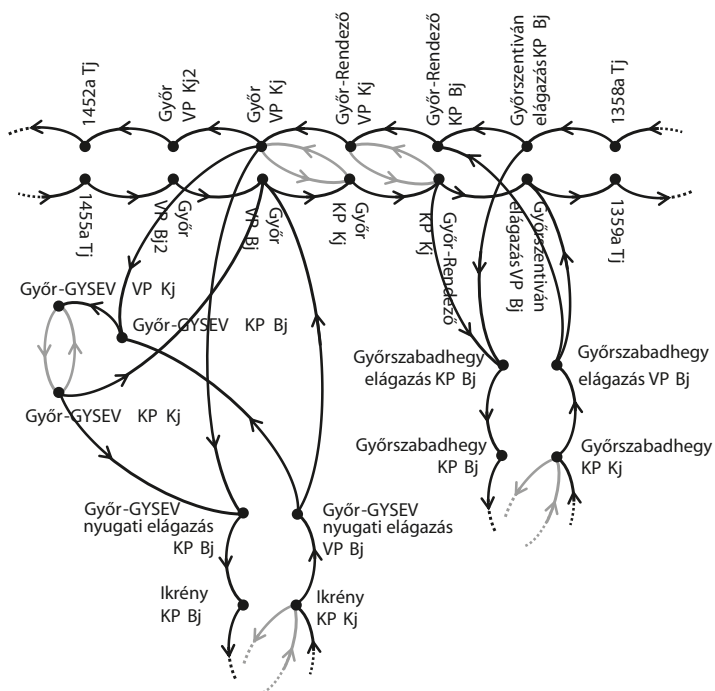
Egy állomás területét a végein található bejárati jelzők definiálják.[10] Egy szerelvény azonban nem bejárati jelzőtől bejárati jelzőig közlekedik, hanem azon túl, de legfeljebb a megfelelő kijárati jelzőig. Ezért az egyes menetvonalakat minden esetben a kiinduló- és a célállomás megfelelő kijárati jelzői között értelmeztük. A menetirányváltást is csak az arra alkalmas állomásokon (a modellben 710 ilyen szerepel) tettük lehetővé. Ilyen esetekben a menetvonalak hosszát nem növeltük meg irányváltáskor, de menetidő-számításnál minden egyes irányváltás esetén 10 percet hozzáadtunk a menetidőhöz, mivel ez a megállástól a menesztésig terjedő időtartamnak egy alsó korlátja.

A teljes hálózat diagramja az 1. ábrán látható Magyarország térképére vetítve. A gráf felépítésének elvét Győr állomás és környékének diagramján szemléltetjük (2. ábra).

[7] Tóth 2023.
[8] VPE 2023, 2024.
[9] Google 2024.
[10] MÁV 2018: 21.



1. ábra: A magyarországi vasúthálózat gráfjának diagramja
Forrás: Tóth 2023

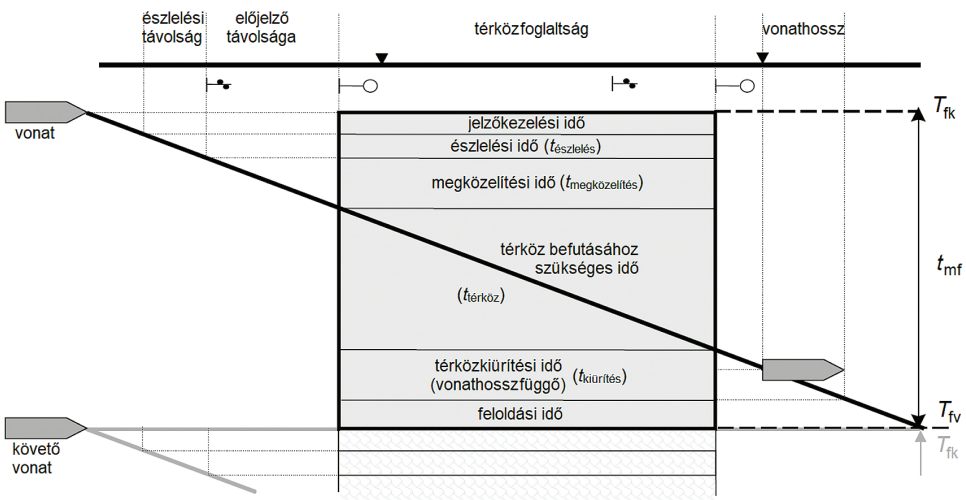


2. ábra: Győr állomást és környékét leíró részgráf diagramja
Forrás: Tóth 2023

Követési időköz

Állomásközi követés esetén a követő vonat csak akkor indulhat el az állomásról (azaz annak megfelelő irányú kijárati jelzője akkor állítható szabad állásba, és a vonat akkor haladhatja azt meg), ha a megelőző vonat teljes hosszában meghaladta a következő állomás bejárati jelzőjét. Annak a feltétele azonban, hogy minden vonat maximális sebességgel közlekedjen, különösen térközi közlekedésre berendezett pályán, ennél összetettebb.

Tegyük fel, hogy a térközjelzők távolsága nagyobb, mint az általános fékúttávolság. Ekkor a követő vonat akkor tud végig a megengedett maximális sebességgel közlekedni, ha (önműködő térközjelzőkkel felszerelt pálya esetén) akkor érkezik a következő térközjelző észlelési pontjához, amikor az éppen zöldre vált. Ez azt is jelenti, hogy az ezt követő térközjelző pont ekkor vált vörösről sárgára, azaz a megelőző vonat ekkor haladt ki az ezen jelző által fedezett térközből.[11] Ezek alapján az adott térköz úgynevezett mértékadó foglaltsági ideje (t_{mf}) a következőképpen számítható (3. ábra).[12]



3. ábra: A követési távolság meghatározása
Forrás: UIC 2013; Lévai 2022

A mértékadó foglaltsági idő (tmf) a foglaltsági idő kezdete (T_{fk}) és a foglaltsági idő vége (T_{fv}) közötti időtartam. A foglaltsági idő az a teljes idő, amely ahhoz szükséges, hogy egy vonat áthaladjon a térközön, amely a következő időket tartalmazza:

- biztonsági tartalék, amely az az idő, ami alatt a vonat fizikailag belép a térközbe. Ennek része a jelzőkezelési idő, az észlelési idő ($t_{észlelés}$) és a megközelítési szakasz befutásához szükséges idő ($t_{megközelítés}$); helyből induló vonatnál ez az érték 0. A jelzőkezelési időt a számításokban zérusnak vettük;

[11] MÁV 2023a: 36.
[12] UIC 2013; Lévai 2022.

- az az idő, amíg a vonat eleje áthalad a térközön: a foglalt térköz befutási ideje ($t_{\text{térköz}}$);
- a térköz kiürítéséhez szükséges idő, ami a vonat kihaladásához és a biztonsági szakasz befutásához kellő idő ($t_{\text{kiürítés}}$);
- a jelzők kezeléséhez szükséges idő, hogy a következő vonat behaladhasson a térközbe. Ez önműködő térközjelzők esetében szintén zérus, ezért a számításokban az egyszerűség kedvéért ezt az értéket is nullának vettük.

Ezekből a mértékadó foglaltsági idő:

$$t_{\text{mf}} = t_{\text{észlelés}} + t_{\text{megközelítés}} + t_{\text{térköz}} + t_{\text{kiürítés}} \tag{1}$$

Az észlelési távolság a MÁV F.1. sz. jelzési utasítása alapján határozható meg: „a főjelzőket úgy kell elhelyezni, hogy jelzéseik a mozdonyról, vezérlőkocsiról folyamatosan láthatók legyenek a vasúti pályára engedélyezett, km/h-ban kifejezett sebesség tízszeresének 1/3 részével egyenlő, méterben mért távolságból, de legalább 200 m-től."[13]

A kapacitáskihasználtság a vonatkozó UIC-döntvény[14] alapján az alábbi módon számítható:

$$K_{\text{k}} = \frac{t_f \cdot (1 + t_p)}{t_N} \tag{2}$$

ahol K_k a kapacitáskihasználtság (ezt az UIC által javasoltak alapján 0,7-nek vettük), t_f a foglaltsági idő, t_p az állandó jellegű időfelhasználásnak a teljes foglaltsághoz viszonyított értéke (ennek értékét 0,18-nak vettük),[15] t_N pedig a naptári időalap, ami esetünkben 1440 perc.

Az (1) és (2) összefüggésekből meghatározva a t_{mf} és t_f értékeket, az egy vágányon közlekedtethető vonatdarabszám (N) ezek hányadosaként számítható:[16]

$$N = \frac{t_f}{t_{mf}} \tag{3}$$

Mindezek figyelembevételéhez minden egyes főjelzőre meghatároztuk az azt követő összes lehetséges két térközt, és kiválasztottuk azokat, amelyekre az összmenetidő a legkisebb. Hasonlóan meghatároztuk a jelzőt megelőző térközre az észlelési távolságot, és ennek, illetve a maximális engedélyezett vonathossznak a figyelembevételével kiszámítottuk az egyes térközökhöz a mértékadó foglaltsági időket, ezekből pedig meghatározható az adott vonalszakasz egy napra vetített átbocsátóképessége. Ez az érték ezért egy abszolút felső határ az egyes vonalszakaszok átbocsátóképességére.

[13] MÁV 2023b: 16.
[14] UIC 2013.
[15] Lévai 2022.
[16] Lévai 2022.

Számítási módszerek

Szoftverkörnyezet

A számításokat az R programozási nyelven és környezetben[17] végeztük el a Csárdi Gábor és Nepusz Tamás által kifejlesztett *igraph* csomaggal.[18] A menetidők, illetve menetvonalhosszak szempontjából legrövidebb utakat a csomag distances() függvényével határoztuk meg, amely olyan élsúlyozott gráfok esetében, amelyek csak nemnegatív súlyú éleket tartalmaznak (mint esetünkben is), a Dijkstra-algoritmust[19] használja ehhez. Két gráfpont között a programcsomag shortest_paths() függvényével meghatározhatók a pontos útvonal által érintett egyes gráfélek ($epath).

Mozdonyflotta

Mivel a Magyar Honvédség tulajdonában nincs vasúti vontatójármű, ezért azokat a katonai szállításokhoz is bérelni kell. Vizsgálatunkban csak nyilvánosan elérhető adatokra támaszkodva[20] azon normál nyomtávú (1435 mm) dízelmozdonyait vizsgáltuk, amikkel bármilyen jellegű kocsitovábbítás lehetséges. Ezekből összesen 444 darab van, a mozdonyok maximális menetsebességét is minden esetben figyelembe vettük a számításokban.

Mivel elsősorban különleges jogrend idején kívántuk vizsgálni a szállítási kapacitásokat, az áramellátás esetleges zavara miatt a szerelvények továbbítása ilyen esetben csak dízelüzemmel lehetséges. A kérdés, hogy elegendő-e ebben az esetben is a rendelkezésre álló flotta (feltételezve, hogy a pálya nem sérült).

Emellett az MH saját célú vasúti pályái (scvp) kivétel nélkül villamosítatlanok, azaz berakodás után, illetve lerakodás előtt az elegy továbbítását mindenképpen dízelmozdonnyal kell végezni legalább az iparvágány és a legközelebbi villamosított vasútállomás között. Emellett a legrövidebb/leggyorsabb útvonalnak villamosítatlan vonal(szakasz)ok is részei lehetnek, ahol legalább dízel előfogatra is szükség van.[21]

A maximális folyam

Minden gráfélhez kiszámítottuk annak kapacitását, azaz esetünkben az azon időegység alatt közlekedtethető vonatok maximális számát. Ekkor bármely két gráfcsúcs között meghatározható az úgynevezett folyam, amely azt mutatja meg, hogy mennyi azon két csúcs (azaz az általuk reprezentált jelző) között egységnyi idő (esetünkben egy nap) alatt leközlekedtethető vonatok maximális száma, és mi ezeknek a pontos útvonala. Ez utóbbi azért lényeges, mert lehet, hogy két nagyobb kapacitású vonalszakasz között

[17] R Core Team 2012.
[18] Csardi–Nepusz 2006.
[19] Dijkstra 1959.
[20] Vonat-összeállítás 2023.
[21] Vörös 2014.

több kisebb átbocsátóképességű található, amelyek mindegyike igénybe veendő a maximális folyam átbocsátásához.

A maximális folyam értéke, azaz hogy két gráfcsúcs között mekkora a hálózat maximális átbocsátóképessége és ennek a gráf élein való eloszlása, az *igraph* csomag maxflow() függvényével határozható meg.

A teljes hálózat átbocsátóképességének meghatározásához először kiszámítottuk minden határátmenetpár között a lehetséges maximális kapacitást úgy, hogy a nem villamosított vonalak kapacitását 0-ra állítottuk a számítás elején, és a kapott értékeket összegeztük (kumulált átbocsátóképesség). Ezután elvégeztük a számítást a villamosítatlan vonalak valós kapacitásértékével is.

Az MH iparvágányai közötti folyamokat kétféleképpen számítottuk, amelyek a szállítások szélsőséges példáit modellezik. Először a rövid távú szállításokat szimuláltuk úgy, hogy meghatároztuk a két (időben, illetve távolságban) legközelebbi MH-iparvágány távolságát és kiszámítottuk közöttük a maximális folyamot. Ezzel az értékkel csökkentettük az útvonalra eső pályaszakaszok elérhető szabad kapacitását, majd meghatároztuk a második két legközelebbi MH-iparvágány távolságát és kiszámítottuk közöttük a maximális folyamot stb.

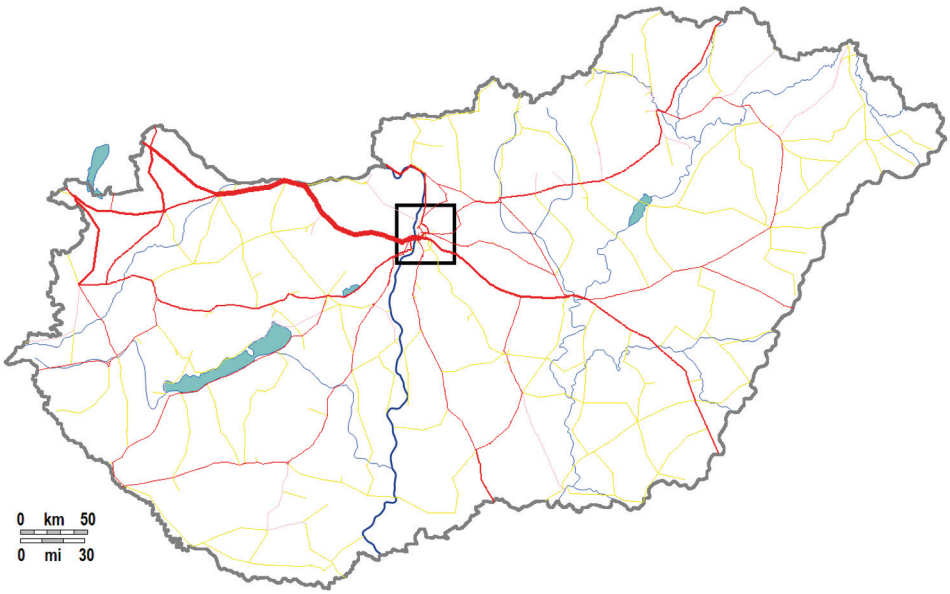
Másodszor a nagy távolságú szállításokat szimuláltuk: most a két legtávolabbi MH-iparvágány között számítottuk ki a folyamot, majd a második két legközelebbi között stb. Itt tehát az volt a különbség az előző számításhoz képest, hogy mindig a két (időben vagy távolságban) legtávolabbi MH scvp-k között számoltuk a folyamot. Ez természetesen azt is jelentette, hogy az igénybe vett vasútvonalszakaszok is sokkal hosszabbak voltak, mint az előző számításnál.

Eredmények

A számítások eredményeit a következőkben térképeken szemléltetve mutatjuk be.

A magyarországi vasúthálózat átbocsátóképessége

Először a villamosított határátmenetek között határoztuk meg a lehetséges maximális forgalmat. A 27 határátmenet közül csak 13 (Biharkeresztes, Fertőújlak, Gyékényes, Harka, Hegyeshalom, Hidasnémeti, Kelebia, Komárom, Lőkösháza, Őriszentpéter, Rajka, Sopron és Szob) villamosított, 14 (Ágerdőmajor, Ágfalva, Bánréve, Eperjeske, Hídvégardó, Ipolytarnóc, Kötegyán, Magyarbóly, Murakeresztúr, Nógrádszakál, Nyírábrány, Röszke, Sátoraljaújhely, Somoskőújfalu, Szentgotthárd, Záhony) nem. Bár a 150. sz. Budapest-Kelebia vonal jelenleg teljes átépítés alatt van, és annak felújítás utáni pontos térközkiosztása sem ismert, ennek ellenére nem akartuk ezen vonalat figyelmen kívül hagyni. A számításokhoz ezért a felújítás előtti paramétereket használtuk, tehát a vonal forgalomnak való átadása után annak szerepe ennél jelentősebb lesz. A kapott eredmények a 4. ábrán láthatók.



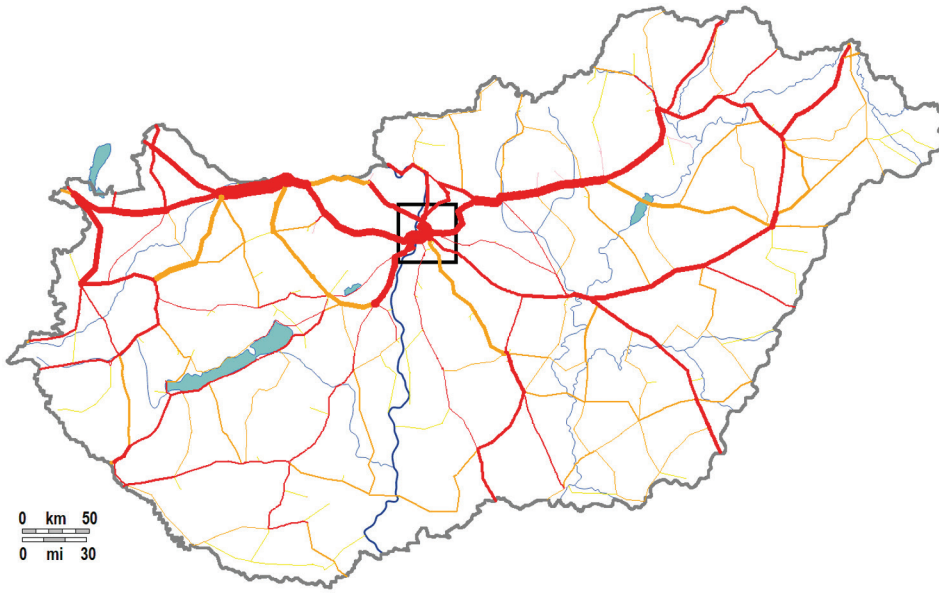
4. ábra: A magyarországi vasúthálózat kumulált átbocsátóképessége kizárólag villamos vontatás esetében. A vonalak vastagsága az átbocsátott forgalommal és nem az adott vonalszakasz kapacitásával arányos. Piros: villamosított vonal nemnulla forgalommal, rózsaszín: villamosított vonal nulla forgalommal, sárga: villamosítatlan vonal

Forrás: a szerzők szerkesztése

Azt látjuk, hogy például a 40. sz. Pusztaszabolcs–Pécs-vasútvonal Dombóvártól délre eső szakasza vagy a 100. sz. Szolnok–Debrecen–Nyíregyháza–Záhony-vonal Nyíregyházától keletre eső szakasza villamosítás szempontjából zsákvonal, hiszen bár ezek a vonalak villamosítottak, a megfelelő határátmenet (Magyarbóly, illetve Záhony) villamosítatlansága miatt nem elérhetők.

A nemzetközi forgalom szempontjából a legjelentősebb az 1. sz. Budapest–Hegyeshalom-vonal, különösen annak Győrtől keletre eső szakasza. Ennek elsődleges oka, hogy bár a vonal kapacitása végig nagyjából állandó, a Győrtől nyugatra eső határátmeneteknek a pályánál alacsonyabb engedélyezett sebessége miatt az itt csatlakozó 8. sz. Győr–Sopron-vonal forgalma is hozzáadódik a Budapest felé vezető irányhoz.

Alapvetően megváltozik a kép, ha a villamosítatlan vonalakat is figyelembe vesszük (5. ábra). A kumulált átbocsátott forgalom 57%-kal nő meg a villamosítatlan határátmenetek forgalmának köszönhetően, azaz a lehetséges forgalom 64%-a bonyolódik csak a villamosított vonalakon, annak harmada a villamosítatlan határátmeneteken zajlik.



5. ábra: A magyarországi vasúthálózat kumulált átbocsátóképessége villamos és dízelvontatás esetében. A vonalak vastagsága az átbocsátott forgalommal és nem az adott vonalszakasz kapacitásával arányos. Piros: villamosított vonal, sárga: villamosítatlan vonal

Forrás: a szerzők szerkesztése

A legjelentősebb forgalmat bonyolító villamosítatlan vonalak a villamosított vonalak között található, magas engedélyezett sebességű vonalak. Ezek a 10. sz. Győr–Celldömölk-vonal, a 2. sz. Budapest–Esztergom-vonal, az 5. sz. Székesfehérvár–Komárom-vonal, a 142. sz. Budapest–Lajosmizse–Kecskemét-vonal és a 108. sz. Debrecen–Füzesabony-vonal.

Ez az eredmény is kiemeli az 5. sz. vonal meghatározó szerepét Budapest elkerülésében, amely a tervezett V0 vasútvonal több korábbi nyomvonaltervében is a vonal részeként szerepelt.[22]

A 142. sz. vonal honvédelmi szerepét a hálózatban már korábban kimutatták,[23] és jelen vizsgálat megerősítette helyettesítő szerepét a 100. és 150. sz. vonalak tekintetében.

A 108. sz. vonal a 80a és 80. sz. Budapest–Hatvan–Miskolc–Szerencs–Sátoraljaújhely-vonal és a 100. sz. vonal közötti átjárhatóságot biztosítja,[24] ezáltal lehetőséget teremt a két fővonal bármelyikének sérülése esetén a forgalom másikra való terelésére.

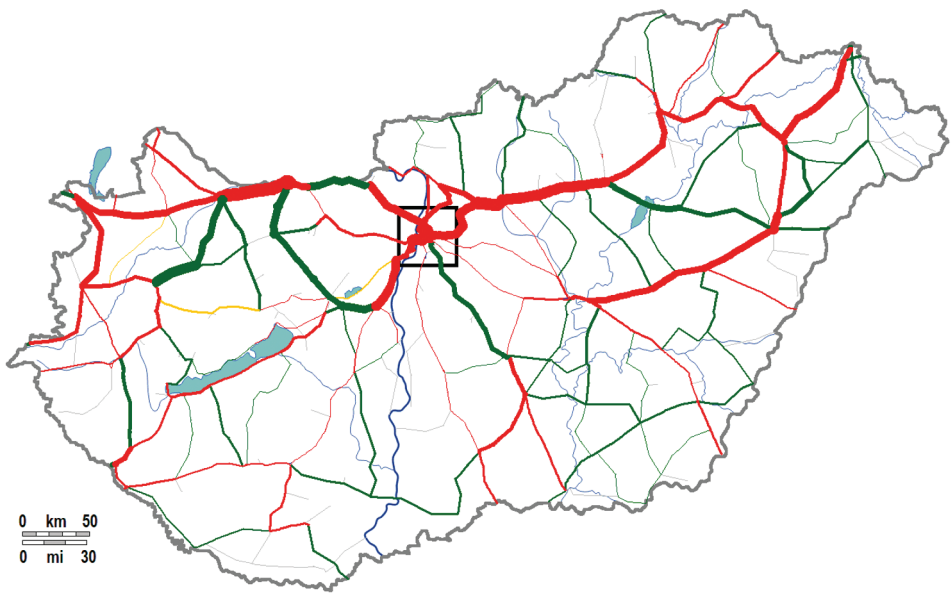
A számítás azt is kimutatta, hogy a 4. sz. Esztergom–Almásfüzitő- és a 2. sz. Budapest–Esztergom-vonal megfelelő paraméterek esetén valós helyettesítője lehetne az 1. sz. fővonalnak, azonban az itt található műtárgyak és a vonalak berendezése

[22] Somogyvári–Tóth 2023.
[23] Szászi 2013b.
[24] Lévai 2023.

miatt jelenleg nem alkalmas erre a funkcióra, és csak irreálisan magas költségekkel lehetne alkalmassá tenni.

Feltűnően alacsony a 20. sz. Székesfehérvár–Szombathely-vonal forgalma, annak ellenére, hogy a vonal villamosított. Ennek oka abban keresendő, hogy több szakaszán csak 80 km/h a rajta engedélyezett sebesség, valamint hogy a Celldömölk és Boba közötti szakasza kivételével egyvágányú. Emiatt az 1. sz. vonal (különösen annak Győr és Komárom közötti szakasza) az Északnyugat-Magyarország és Budapest közötti forgalom fő útvonala.

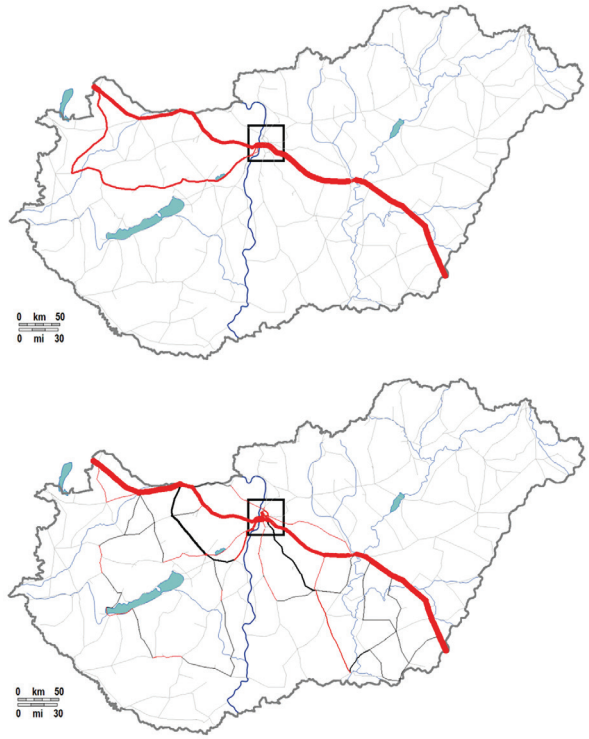
Ábrázolva a 4. és az 5. ábra forgalomértékeinek a különbségeit, a 6. ábrán bemutatott eredményeket kapjuk.



6. ábra: A magyarországi vasúthálózat kumulált átbocsátóképességének változása a villamosítatlan vonalak figyelembevételének hatására. Piros: villamosított vonal, forgalomnövekedés; sárga: villamosítatlan vonal, forgalomnövekedés; narancs: villamosított vonal, forgalomcsökkenés
Forrás: a szerzők szerkesztése

A várakozásoknak megfelelően majdnem mindenhol forgalomnövekedést tapasztalunk, három vonalszakaszt kivéve. Az egyik a már említett 20. sz. vonal Boba és Veszprém közötti szakasza, a másik a 30a Budapest–Székesfehérvár-vonal Székesfehérvár és Érd alsó elágazás, illetve Érd elágazás közötti szakasza, amelyek forgalma a 10. sz., illetve az 5. sz. vonalak igénybevételével halad.

Ennek szemléltetésére vizsgáljuk meg a Hegyeshalom–Lőkösháza-viszonylatot (7. ábra).



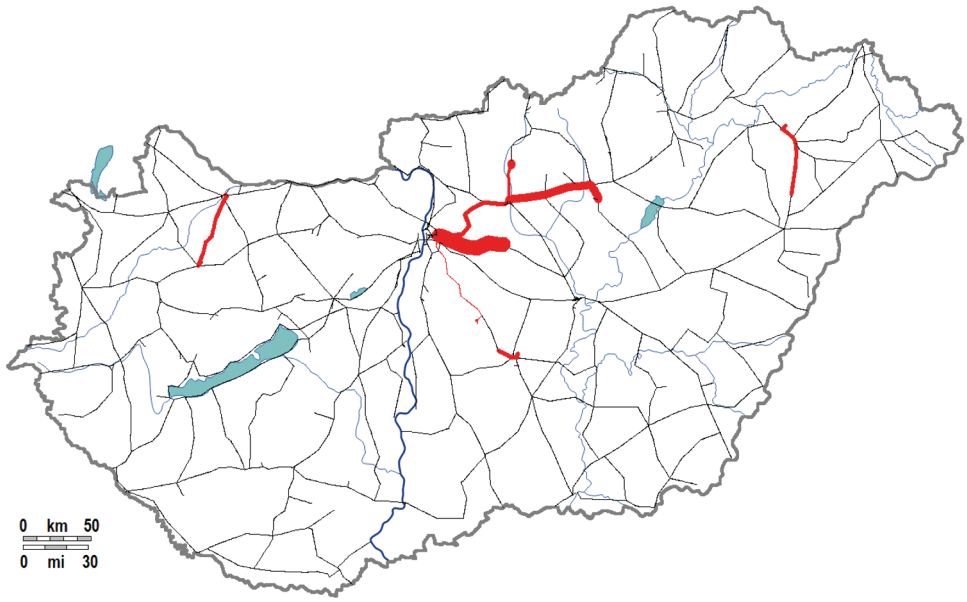
7. ábra: A Hegyeshalom és Lőkösháza közötti kumulált átbocsátóképesség csak villamosított vonalakra (fent) és villamosított és villamosítatlan vonalak figyelembevételével (lent). A vonalak vastagsága az átbocsátott forgalommal és nem az adott vonalszakasz kapacitásával arányos. Piros: villamosított vonal, fekete: villamosítatlan vonal

Forrás: a szerzők szerkesztése

Csak villamosított vonalakat igénybe véve a folyam egy része a nyilvánvaló 1., 100a és 120. sz. Szolnok–Békéscsaba–Lőkösháza-vonalak által alkotott útirány mellett a 16. sz. Hegyeshalom–Szombathely és a 20. és 30a vonalakon halad Budapestig. A villamosítatlan vonalakat is figyelembe véve több jelentéktelen (köztük egy Bátaszéket és egy Szegedet is érintő) útvonal mellett a legjelentősebb az 5., 44. sz. Pusztaszabolcs–Székesfehérvár- és 40a Budapest–Pusztaszabolcs-vonalakat érintő útirány, amely a hosszú porpáci kitérőt (és irányváltást) váltja ki a többnyire villamosítatlan alternatív útvonalon.

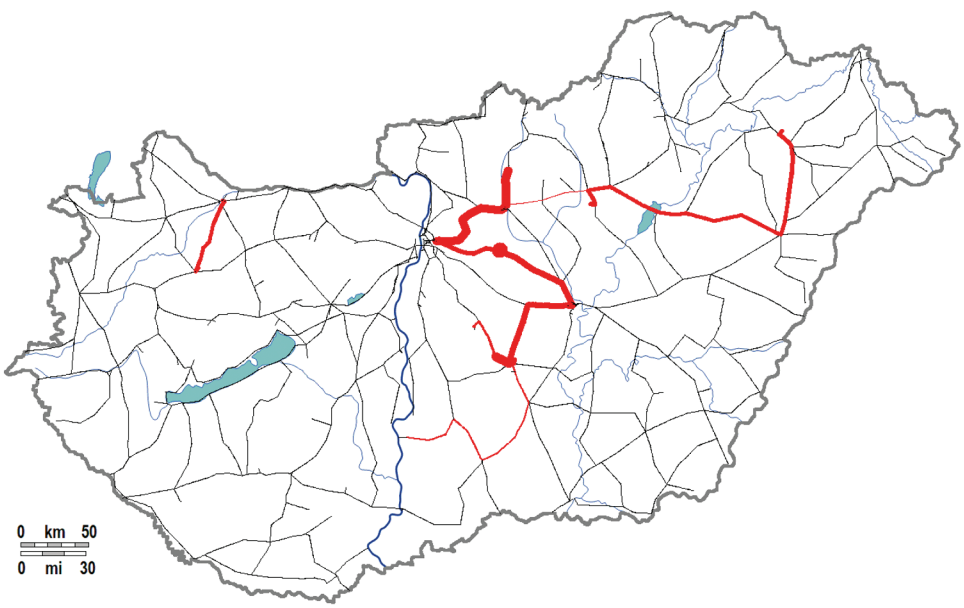
Az MH iparvágányai közötti szállítások

Az előzőekben tárgyalt módon elosztva a mozdonyokat, az alábbi eredményeket kapjuk a legközelebbi MH scvp-k közötti közlekedtetés esetén minimális menetvonalhosszakra (8. ábra) és minimális menetidőkre (9. ábra).



8. ábra: A menetvonalhossz szerint legközelebbi MH-iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése



9. ábra: A menetidő szerint legközelebbi MH-iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A számítások alapján a szállítások minimális menetvonalhosszak esetén a leközlekedtetett vonatok darabszámának csökkenő sorrendjében a Rákos–Tápiószecső, Jobbágyi–Erdőtelek, Jobbágyi–Rákos, Kecskemét–Hetényegyháza, Nyírtelek–Hajdúhadház, Győr–Pápa, a táborfalvai iparvágányok között, valamint Táborfalva–Rákos között, minimális menetidők esetén pedig Tápiószecső–Jobbágyi, Tápiószecső–Hetényegyháza, Hetényegyháza–Kecskemét, Jobbágyi–Erdőtelek, Nyírtelek–Hajdúhadház, Győr–Pápa, Rákos–Tápiószecső, a táborfalvai iparvágányok között, Táborfalva–Hetényegyháza és Tápiószecső–Kecskemét viszonylatokban történnek.

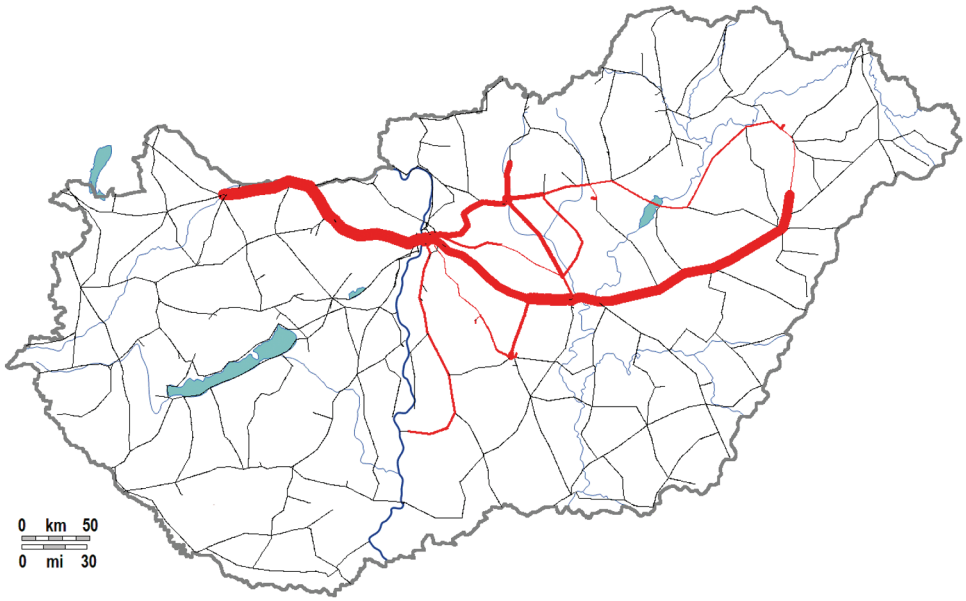
Az eredmények azt mutatják, hogy rövid távú szállítások esetében a hálózat kapacitása megfelelő, ha a legrövidebb úton akarjuk a szállítást lebonyolítani. Ennek legfőbb oka, hogy az útvonalak, amelyeken a szállítás történik, nem fednek át. Ekkor tehát, ha elegendő vontatójármű és rakodási kapacitás áll rendelkezésre (amik korlátait ezen számításban nem vettünk figyelembe), a szállítások kivitelezhetők.

Azonban a rövid távú szállítások minimális menetidők esetében nem végezhetők el teljes mértékben, csak a vonatok 87%-a közlekedtethető le. Mivel az iparvágányok néhány kivétellel fővonalak mellett helyezkednek el, amelyekre magas az engedélyezett sebesség, ez a hálózat telítődését okozza, ugyanis minden menetvonal ezekre a vonalakra „törekszik" a menetidő minimalizálása érdekében. Ahogy a 8. ábrán látszik is, a szerelvények a fővonalak néhány rövidebb szakaszát annak kapacitáshatáráig veszik igénybe, és ezért további menetvonalak már nem vezethetők arra.

Tovább romlik a kép, ha elvégezzük a számítást az egymástól legmesszebb levő MH scvp-k esetére is, amikor minden lépésben térben és időben legmesszebbi, de még nem nulla kapacitású scvp-k között szállítunk. Bár ezek meglehetősen ritka szállítási viszonylatnak számítanak, hiszen ezen vágányok alapvetően a gyakorlatban inkább a helyszíni rakodást követően a fővonalak elérését támogatják, és nem egy másik HM scvp elérése a cél, de mégsem példa nélküliek.[25] Célunk ezen viszonylatok elemzésével ezért inkább annak vizsgálata, hogy ilyen alacsony kapacitású, de egymástól távol eső pályák esetében milyen a hálózat teljesítőképessége. Az eredmények minimális menetvonalhosszakra a 9. ábrán, minimális menetidőkre a 10. ábrán láthatók.

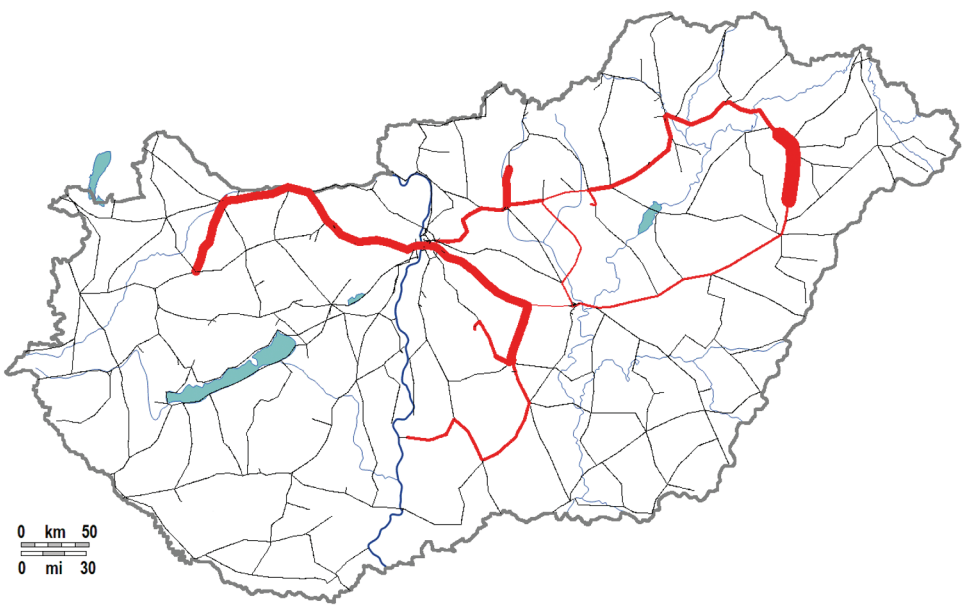
A számítások alapján a szállítások maximális menetvonalhosszak esetén a leközlekedtetett vonatok darabszámának csökkenő sorrendjében a Győr–Hajdúhadház, Győr–Erdőtelek, Győr–Nyírtelek, Nyírtelek–Táborfalva, valamint Győr–Kalocsa között, maximális menetidők esetén pedig Pápa–Hajdúhadház, Nyírtelek–Rákos, Nyírtelek–Pápa, Nyírtelek–Táborfalva, Nyírtelek–Kalocsa, Nyírtelek–Győr, Győr–Hetényegyháza és Hetényegyháza–Pápa viszonylatokban történnek.

[25] Vörös 2014.



10. ábra: A menetvonalhossz szerint legtávolabbi MH-iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése



11. ábra: A menetidő szerint legtávolabbi MH-iparvágányok között közlekedtethető dízelvontatású vonatok eloszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A maximális menetvonalhosszak esetében a hálózat erősen kapacitáshiányosnak bizonyult. A szerelvényeknek mindössze 52%-át lehetett leközlekedtetni és az Összekötő vasúti híd is elérte áteresztőképességének határát. Ez azt is jelenti, hogy nagy távolságú szállítások esetén nem elsősorban a vontatójárművek darabszáma jelenti a korlátozó tényezőt, hanem a magyarországi pályahálózat szűk keresztmetszetei, ahol különböző irányból érkező és különböző irányokba tartó menetvonalak találkoznak. Ilyenek különösen a nagyfolyami hidak,[26] amelyek többvágányúvá bővítésük esetén is érzékenyek maradnak a szomszédos állomások forgalmi zavaraira.[27]

Maximális menetidők esetében ugyan a szerelvények 70%-a leközlekedtethető, de ekkor pedig a Hajdúhadház–Nyíregyháza-állomásköz telítődik. Ez hasonló, de a hálózat szerkezetéből adódóan kisebb probléma, mint az előző esetben az Összekötő vasúti híd átbocsátóképességének teljes kihasználása, mivel a 100. sz. fővonalon Debrecentől és a 80. sz. fővonalon még az egyvágányú Mezőzombor–Nyíregyháza-szakaszon is marad kapacitás az esetleges további keleti irányú igény átbocsátására. Ebben az esetben azonban a fővonalak kölcsönös helyettesítőképessége leromlik az alacsony kapacitású transzverzális vonalak miatt.

Konklúzió

Megvizsgálva a magyarországi vasúthálózat határátmenetek közötti forgalmi teljesítőképességét azt találtuk, hogy a forgalom harmada villamosítatlan vonalakon futna. Villamos vontatás esetében a 20. sz. vasútvonal a hálózat lényeges eleme, azonban dízelvontatás alkalmazása esetén léteznek kedvezőbb útirányok.

A Magyar Honvédség szállításaira nézve azt találtuk, hogy minimális távolságú szállítások esetén a pályakapacitás elégséges, a korlátozó tényezőt a gördülőállomány mennyisége jelenti. Bár minimális menetidejű szállítások esetén már telítődött a hálózat, feltételezhető, hogy hosszabb kerülőutakkal a szállítás még megoldható lenne. Maximális távolságú és menetidejű szállítások esetén a pályakapacitás bizonyult elégtelennek. Maximális menetvonalhosszak esetén nem lehetett az összes vonatot leközlekedtetni az Összekötő vasúti híd telítődése miatt. Maximális menetidők esetén minden vonat le tudott közlekedni, a Hajdúhadház–Nyíregyháza-állomásköz telítődött, azonban itt rendelkezésre álltak szabad kapacitású alternatív útvonalak.

A leközlekedtetett szerelvények darabszáma viszont azt sejteti, hogy ennyi vonat be- és kirakása ennyi idő alatt a rendelkezésre álló honvédségi rakodókon nem megoldható, azonban ennek egzakt igazolása további kutatást igényel.

[26] Szászi 2013b.
[27] Szászi 2014.

Felhasznált irodalom

277/2014. (XI. 14.) Kormányrendelet a vasúti közlekedési hatóság által kiszabható bírság mértékéről és megfizetésének részletes szabályairól. Online: https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400277.kor

Csárdi, Gábor – Nepusz, Tamás (2006): The Igraph Software Package for Complex Network Research. *InterJournal, Complex Systems,* 1695. Online: https://igraph.org/

Dijkstra, Edsger Wybe (1959): A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik,* 1, 269–271. Online: https://doi.org/10.1007/BF01386390

Eurostat (2024a): *Total Length of Railway Lines*. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TTR00003/default/table?lang=en&category=rail.rail_if

Eurostat (2024b): *Length of Electrified Railway Lines by Type of Current*. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/rail_if_electri/default/table

Lévai Zsolt (2022): A BAVS által javasolt új budapesti vasúthálózat helyettesíthetőségének vizsgálata. In Horváth, Gábor – Horváth, Balázs (szerk.): *XX. European Transport Congress/XII. International Conference on Transport Sciences.* Győr. 342–354.

Lévai Zsolt (2023): A fővonali vasúti Tisza-hidak helyettesíthetőségének kérdései. *Műszaki Katonai Közlöny,* 33(2), 59–74. Online: https://doi.org/10.32562/mkk.2023.2.5

MÁV (2023a): *F. 2. sz. Forgalmi Utasítás*. MÁV Zrt. Pályavasúti Üzletág Forgalmi Főosztály. Online: https://bit.ly/41b2qCn

MÁV (2023b): *F. 1. sz. Jelzési Utasítás*. MÁV Zrt. Pályavasúti Üzletág Forgalmi Főosztály. Online: https://bit.ly/3CHygMw

MÁV-Start mozdonyok (2023). Online: www.vonatosszeallitas.hu/jarmuvek_mav_mozdonyok.html

R Core Team (2012). *A Language and Environment for Statistical Computing.* Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Online: www.R-project.org/

Somogyvári Bence Miklós – Tóth Bence (2023): A V0 vasútvonal új nyomvonalának hatása a Magyar Honvédség saját célú vasúti pályáinak kapcsolatára. In Horváth, Balázs – Horváth, Gábor (szerk.): *XIII. International Conference on Transport Sciences.* Győr. 335–346.

Szászi Gábor (2013a): *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata.* PhD-disszertáció. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem. 103–104. Online: https://doi.org/10.17625/NKE.2014.028

Szászi Gábor (2013b): A vasúti közlekedési alágazat, mint kritikus infrastruktúra. In Horváth Attila (szerk.): *Fejezetek a kritikus infrastruktúra védelemből*. Budapest: Magyar Hadtudományi Társaság, 167–190. Online: www.mhtt.eu/hadtudomany/KIV_tanulmanykotet.pdf

Szászi Gábor (2013c): Long-Span Railway Bridges in the Transport System of Hungary. *Hadmérnök,* 8(2), 98–107. Online: http://hadmernok.hu/132_09_szaszig.pdf

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

Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 83–99. Online: https://real.mtak.hu/94343/1/Kozlekedj_okosan-_A_kozlekedest_tamogato.pdf

TÓTH Bence (2018): A magyarországi vasúthálózat zavarainak gráfelméleti alapú vizsgálata. In HORVÁTH Balázs – HORVÁTH Gábor – GAÁL B. (szerk.): *Közlekedéstudományi Konferencia. Győr 2018*. 505–519. Online: http://real.mtak.hu/78843/1/2018b_KTK.pdf

TÓTH Bence (2023): Állomásközök és térközök hatása a vasúthálózat modelljének pontosságára. *Hadtudomány,* 33(E-szám), 137–156. Online: https://doi.org/10.17047/Hadtud.2023.33.E+137

UIC (2013): *Union International des Chemins de fer: Capacity (UIC Code R 406)*. Paris. Online: https://tamannaei.iut.ac.ir/sites/tamannaei.iut.ac.ir/files/files_course/uic406_2013.pdf

VÖRÖS Attila (2014): Valamit rakodnak Táborfalván. *Iho.hu,* 2014. június 15. Online: https://iho.hu/hirek/valamit-rakodnak-taborfalvan-140614

VPE (2023): *Vasútvonalak*. Online: www.kapella.hu/takt/vonal_lista.php

VPE (2024): *Vasúthálózati térkép*. Online: https://takt.kapella2.hu/metronom-server/map