



I. évfolyam, 3. szám – 2016. október

Dr. Török Árpád

KRITIKUS KÖZÚTHÁLÓZATI ELEMELK AZONOSÍTÁSA

Absztrakt

Jelen cikk a közúthálózat megfelelő m ködését korlátozó küls hatások szempontjából leginkább kritikusnak min sül közúthálózati elemek vizsgálatára irányuló módszertant mutat be. Az elemzés során a hazai közúthálózatot gráfként vizsgálom. A Dijkstra által bevezetett legrövidebb útvonal keres algoritmus, valamint Ford-Fulkerson féle maximális áramlatnagyság meghatározására irányuló eljárás segítségével azonosítom azon hálózati elemeket, melyek sérülése kiemelten kritikust hatás gyakorolhat a hálózat m ködésére, illetve melyek környezetében a mentés számára rendelkezésre álló infrastruktúra, a hálózat többi részéhez képest kisebb átocsátó képességgel rendelkezik.

Kulcsszavak: kedvez tlen küls hatások, kritikus közúthálózati elemek, gráf, Dijkstra módszer, Ford-Fulkerson féle eljárás.

IDENTIFYING CRITICAL ELEMENTS OF THE ROAD NETWORK

Abstract

The aim of the paper is to identify those critical road infrastructure elements, which can be characterized as the most sensitive part of the network especially considering extreme weather conditions or special unexpected external effects. The shortest path method introduced by Dijkstra and the maximum flow algorithm developed by Ford and Fulkerson are applied to investigate the sensitiveness of the network components with regard to unforeseen forthcoming processes for example catastrophes.

Keywords: critical road infrastructure elements, sensitive part of the network, extreme weather conditions, unexpected external effects, Dijkstra method, Ford-Fulkerson method.

1. BEVEZETÉS

Jelen cikk célja a közúthálózat megfelelő működését korlátozó külső hatások – mint pl. a természeti csapások eredményeként elálló vészhelyzetek – szempontjából leginkább kritikusnak minősülő közúthálózati elemek azonosítása.

A kritikus hálózati elemek azonosítására irányuló módszertani keretek meghatározására irányult a Sufyan, Saqib, és Zia által bemutatott kutatás [7], melynek alapvető célja a hálózati elemek működési képességét veszélyeztető sérülések hatásának becslése volt, valamint a teljes hálózat működési képességét leginkább befolyásoló úgynevezett kritikus elemek azonosítása. Az általános hálózati megfontolások vizsgálatán túlmutató Leal, Oliveira, & Porto vizsgálata [4], mely már kifejezetten a közúthálózat sérülékeny elemeinek azonosítására fókuszál. Luathep már közvetlenül a katasztrófák és váratlan természeti jelenségek közúthálózatra gyakorolt hatásának becslését végezte el [5]. Látható tehát, hogy a közúthálózat gyenge pontjainak azonosítására irányuló módszereket a nemzetközi szakirodalom széles körben vizsgálta, illetve vizsgálja, azonban a hazai hálózat zavarérzékenységének csökkentéséhez elengedhetetlen vizsgálati módszertan hazai rendszerkörnyezetbe történő adaptálása.

A cikk első részében a vizsgálati modell felépítése kerül bemutatásra, ezt követően kerül sor az alkalmazott eljárások ismertetésére, majd az utolsó részben az eredmények értékelését végzem el.

2. MODELL

A hazai közúthálózat irányítatlan gráfként kerül leképezésre a vizsgálati modellben. A gráf csúcspontjainak definiálása során rögzítjük a csúcspontok egységes országos vetületi rendszerben értelmezett koordinátáit, illetve a csúcspontok funkció szerint kódolt típusát, mely lehet közúthálózati csomóponti és települési funkció (1), illetve kizárólag közúthálózati csúcsponti funkció (2). A gráf éleinek definiálása során rögzítjük az élek végpontjainak egységes országos vetületi rendszerben értelmezett koordinátáit, valamint az élek típusát a reprezentált közúthálózati elem kategóriája szerint (1- gyorsforgalmi út, 2- első rendű út, 3 – másodrendű út).

A modell kialakítás során az alkalmazott eljárások számításigényéből és a rendelkezésre álló számítási kapacitás korlátosságából kifolyólag kiemelt cél volt, hogy a modell részletezettségét ésszerű keretek közé szorítsuk. Ennek megfelelően közúthálózati és települési funkcióval rendelkező csúcspontként a negyven legnagyobb lakos számú hazai várost, illetve a gráf éleit reprezentáló szakaszként a gyorsforgalmi, az első rendű, valamint másodrendű útkategóriával rendelkező közúthálózati elemeket vettük figyelembe. A fenti megfontolásokkal összhangban a kialakított gráf 131 csúcspontot és 236 élet tartalmaz.

3. MÓDSZERTAN

A szakirodalom áttekintése során megvizsgált elemzések [4], [5] a közúthálózat sérülésének forgalomstruktúra módosító hatását értékelik, tehát ezek a módszerek egy adott él sérüléséből származó átocsátóképesség csökkenését, illetve az ennek hatására kialakuló forgalomátrendeződés becslésére szolgálnak.

A vizsgálat első lépésben azt szeretnénk megállapítani, hogy egy adott hálózati elem sérülése esetén hogyan változnak a hálózat pontjainak egymáshoz viszonyított távolságai. Ennek oka, hogy vizsgálatunk az országos hálózatra korlátozódik és az országos közúthálózat

meghatározó hányadán a forgalom nem közelíti meg a kapacitáskorlátot. Emellett valós katasztrófa helyzet esetén a hétköznapi forgalmi igényekkel szemben el térbe kerülnek a helyreállításra, katasztrófa elhárításra, illetve mentésre irányuló igények, illetve a hétköznapi (pl. hivatásforgalom, egyéni motivációkon alapuló helyváltoztatási igények, stb.) forgalmi igények várhatóan nagymértékben csökkennek, különösen az országos hálózat tekintetében. Összefoglalásképpen elmondható, hogy a hazai országos közúthálózat egy adott szakaszának sérülése miatt kialakult forgalomátrendezés csak meglehetősen kis valószínűséggel eredményezhet torlódásokat.

Fentiek tükrében megállapítható, hogy bár a közúthálózat egyes elemeinek sérülése folytán kialakuló forgalomátrendezés becslése egyes esetekben indokolt (pl. városi környezetben, kapacitáskorláthoz közel működő rendszerek esetén, vagy több hálózati elem együttes hatásának becslése esetén), azonban a kárelhárítás hatékonyságának javítására irányuló célokkal nagyobb összhangban van a hálózat sérülése esetén várható csúcsponti távolságváltozások becslése.

Tekintettel a számításigény csökkentésére irányuló célokra, jelen vizsgálatban a közúthálózati csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontok közötti távolságváltozás vizsgálatára szorítkozom. A vizsgált csúcspontok közötti távolságot Dijkstra algoritmusával [2] becslem.

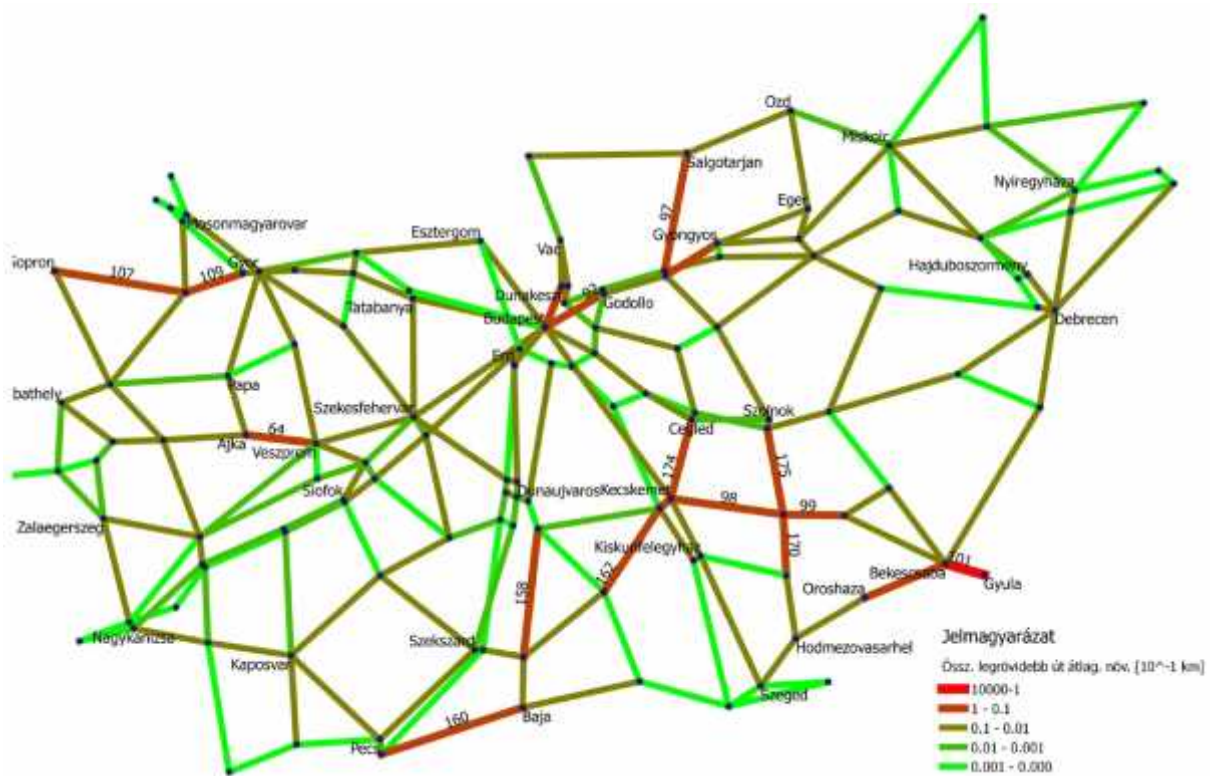
A vizsgálat második része a katasztrófavédelem, illetve a mentés számára rendelkezésre álló közlekedési infrastruktúrakapacitás szempontjából kritikus csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontok azonosítására irányul. A rendelkezésre álló infrastruktúrakapacitást a maximális áramlatnagyság értékek meghatározásával becslem. A maximális áramlatnagyság meghatározására a Ford-Fulkerson eljárást [3] alkalmazom.

Az algoritmus alapelve, hogy amíg léteznek, olyan a kiindulási csúcspontból a cél csúcspontba vezető útvonalak, melynek minden éle rendelkezik le nem kötött, szabad kapacitással addig ezen útvonalak valamelyikét további áramlattal terheljük. A szabad kapacitással rendelkező útvonalakat áramlatnövelő útvonalaknak nevezzük.

4. ÉRTÉKELÉS

A hálózat sérülését az egyes gráf élek eliminációjával modellezve meghatároztam a csúcspontok közötti távolságváltozások vizsgált élre vonatkoztatott átlagát. Ezek alapján arra következtethetünk, hogy azon részgráfok közötti kapcsolatot célszerű kiemelt figyelemmel vizsgálni, ahol az egyik részgráfot a teljes gráf csúcspontjainak egy részhalmazából felépítjük, a részhalmaz elemét nem képezik csomópontokhoz kapcsolódó élek elhagyásával képezzük, míg a másik részgráfot a teljes gráf csúcspontjainak egy másik részhalmazának teljes gráfra vonatkozó komplementeréből felépítjük, a részhalmaz elemét nem képezik csomópontokhoz kapcsolódó élek elhagyásával képezzük. Az így képzett részgráfok közötti kapcsolatot teremtő élek sérülése esetén várhatóan annál kedvezőtlenebb hatás jelentkezik, minél kevesebb közös éllel nem rendelkező alternatív útvonal teremt kapcsolatot a részgráfok alkotó részgráfok között, illetve minél kevesebb – a teljes gráf élek hosszúságeloszlásának vonatkozásában értelmezett – rövidebb alternatív útvonal teremt kapcsolatot a részgráfok alkotó részgráfok között. E feltevésemet alá támasztja a 101 sz. él példája, mely egy részgráfot önállóan alkotó települést (Gyulát) és a hozzá tartozó részgráfot egyetlen élként köt össze és a vizsgálat alapján valóban kritikus hálózati elemnek tekinthető.

Az eredmények alapján arra is következtethetünk, hogy szintén kiemelten kedvezőtlen hatást gyakorol a hálózat működésére azon élek sérülése, melyek a települési funkcióval rendelkező csúcspontok közötti legrövidebb út részét képezik. Várhatóan annál kritikusabb egy él sérülésének hatása, minél több települési funkcióval bíró csúcspont közötti legrövidebb út részét képezi, illetve minél hosszabb az él sérülése miatt kialakuló alternatív másodlagos legrövidebb útvonalak hossza. E feltevéssemel összhangban van a 64 sz. él példája is, mely több település között is a legrövidebb út részét képezi, s t szomszédos településeket (Ajkát és Veszprémet) köt össze és a vizsgálat alapján valóban kritikus hálózati elemnek minősülnek.

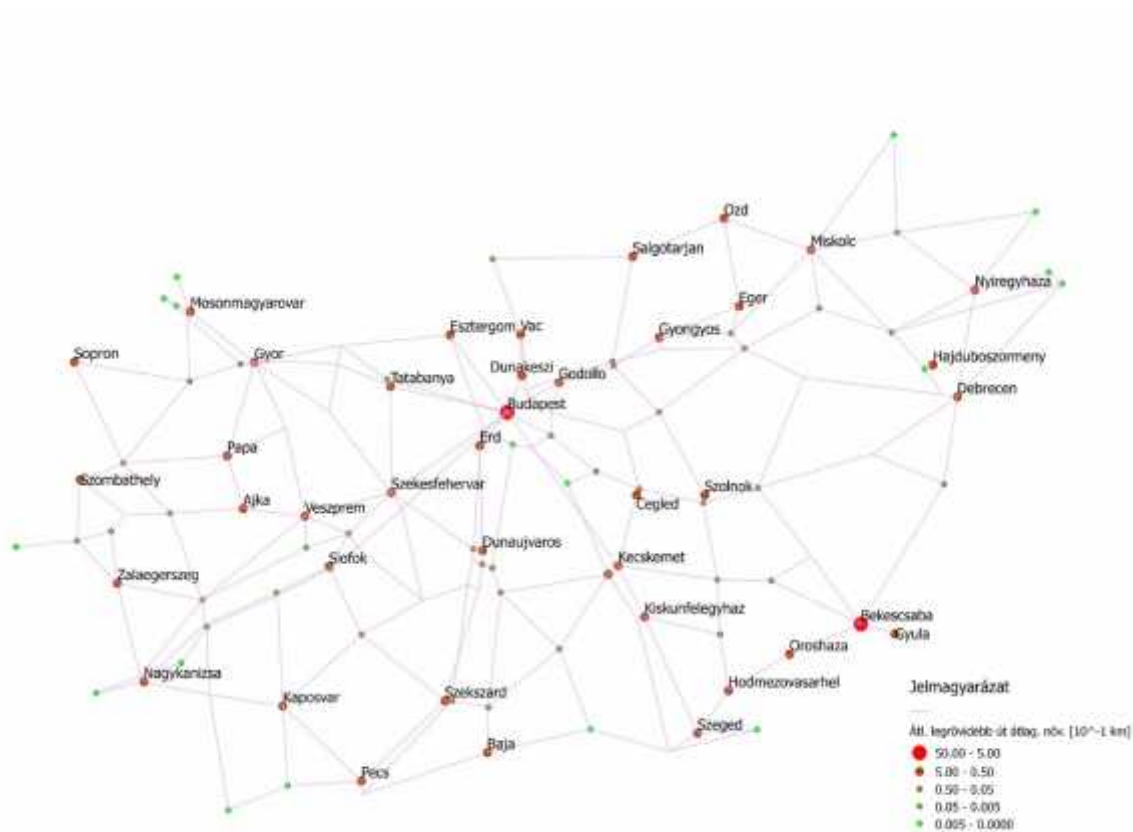


1. ábra: gráf élek eliminációja hatására a csúcspontok közötti legrövidebb útvonalak átlagos távolságnövekedése

A hálózat sérülését az egyes csúcspontok eliminációjával modellezve meghatároztam a csúcspontok közötti távolságváltozások vizsgált csúcspontra vonatkoztatott átlagát. Ezek alapján arra következtethetünk, hogy a fentiekben definiált részgráfok közötti kapcsolatot célszerű a csúcspontok eliminációja során is kiemelt figyelemmel vizsgálni. A részgráfok közötti kapcsolatot teremtő csúcspontok sérülése esetén várhatóan annál kedvezőtlenebb hatás jelentkezik, minél kevesebb közös éllel nem rendelkező alternatív útvonal teremt kapcsolatot a részgráfok között, illetve minél kevesebb – a teljes gráf élek hosszúságeloszlásának vonatkozásában értelmezett – rövidebb alternatív útvonal teremt kapcsolatot a részgráfok között. E feltevésemet alá támasztja a 22. sz. csúcspont (Békéscsaba) példája, mely egy részgráfot önállóan alkotó település (Gyula) és a hozzá tartozó részgráf között létező egyetlen él csúcspontjaként teremt kapcsolatot és a vizsgálat alapján valóban kritikus hálózati elemnek tekinthető.

Az eredmények alapján arra is következtethetünk, hogy szintén kiemelten kedvezőtlen hatást gyakorol a hálózat működésére azon csúcspontok sérülése, melyek a települési funkcióval rendelkező csúcspontok közötti legrövidebb út részét képezik. Várhatóan annál kritikusabb egy csúcspont sérülésének hatása, minél több települési funkcióval bíró csúcspont közötti

legrövidebb út részét képezi, illetve minél hosszabb a csúcspont sérülése miatt kialakuló alternatív másodlagos legrövidebb útvonalak hossza. E feltevéssel összhangban van többek között az 1. sz. csomópont példája is (Budapest), mely több település között is a legrövidebb út részét képezi és a vizsgálat alapján valóban kritikus hálózati elemnek minősülnek.



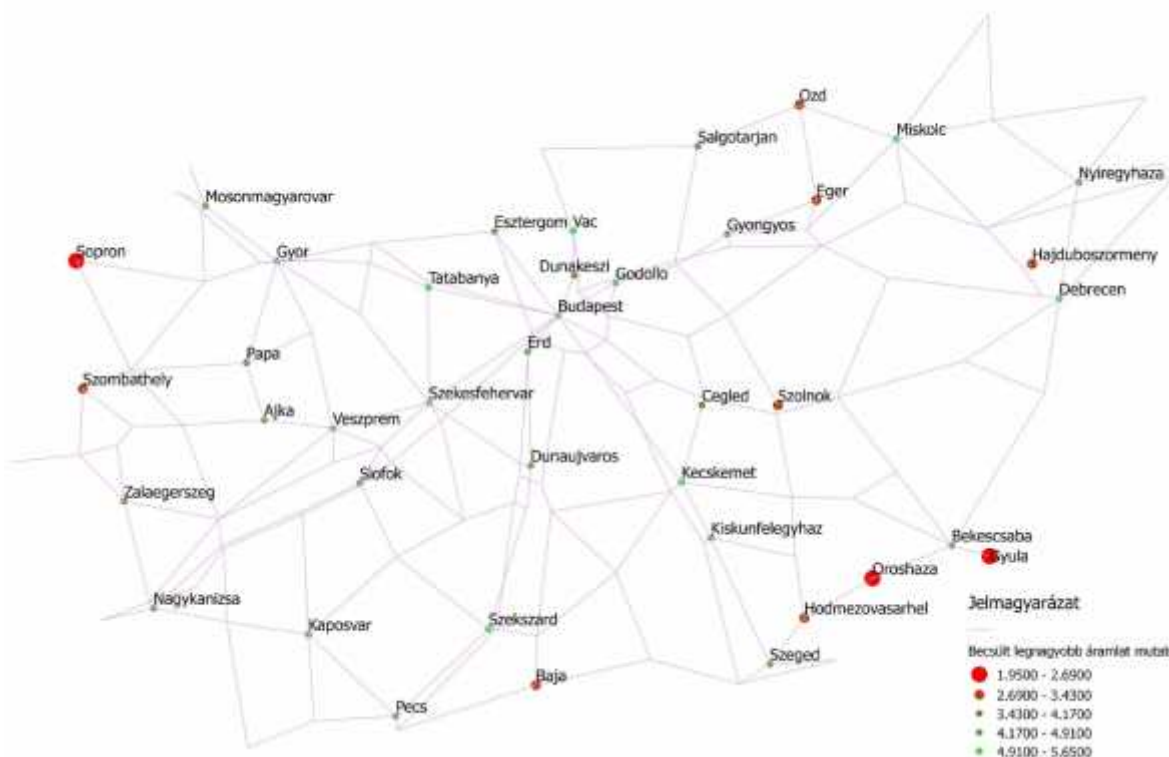
2. ábra: csúcspontok eliminációja hatására a csúcspontok közötti legrövidebb útvonalak átlagos távolságnövekedése

A mentés számára rendelkezésre álló közlekedési infrastruktúrakapacitás becslése céljából a hálózati elemekhez az útkategória értékek alapján relatív kapacitás értékeket rendeltem. A relatív kapacitás értékek alkalmazásával céltom a gráf kritikus elemeinek azonosítása a részgráfok kapacitásának összehasonlításával, valamint az alkalmazott eljárás ellen rzése, ezért nem volt szükséges egzakt, egységjarm számra és id egységre vonatkozó kapacitás érték használata. A relatív kapacitás értékek becslésé során a Highway Capacity Manual [1] által javasolt egzakt értékekb l indultam ki. A legkisebb kapacitású élek relatív kapacitás értékét 1-nek tekintettem (másodrend f utak) és ehhez viszonyítva határoztam meg

magasabb rend útkategóriák becsült átereszt képességét reprezentáló aggregált, relatív kapacitás értékeket (gyorsforgalmi út 5, els rend út 2).

A mentés számára rendelkezésre álló becsült közlekedési infrastruktúrakapacitást felhasználva meghatároztam a csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontok közötti becsült maximális áramlatnagyság értékeket.

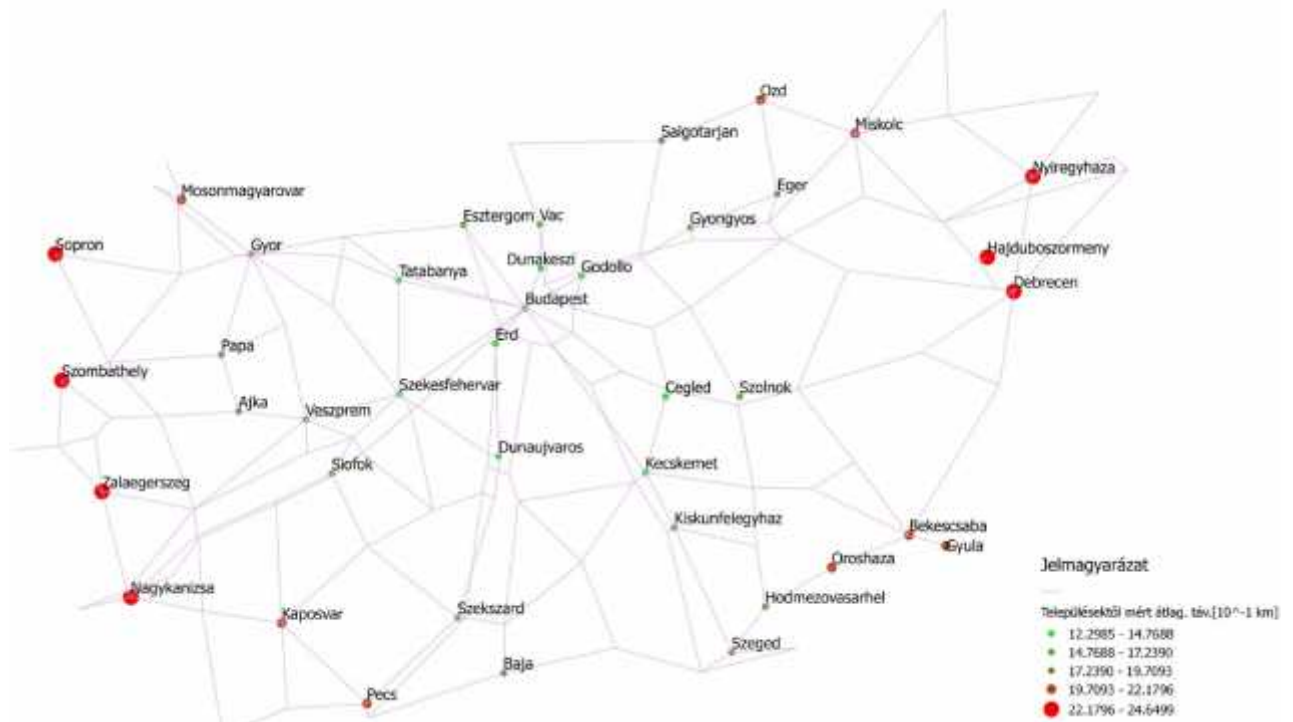
Az eredmények alapján arra következtethetünk, hogy a csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontokból történő mentés számára rendelkezésre álló infrastruktúra kapacitás annál kisebb, minél alacsonyabb kategóriájú szakaszokból álló, minél kevesebb, közös éllel nem rendelkező alternatív útvonal teremt kapcsolatot a csúcspont és a gráf többi eleme között. E feltevéssel összhangban van a 6. sz. csúcspont (Sopron) példája, mely csak két másodrendű kategóriába sorolt éllel keresztül kapcsolódik a hálózathoz és a vizsgálat alapján valóban e csúcspont esetében a legkisebb a becsült maximális áramlatnagyság értéke.



3. ábra: a csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontok közötti becsült maximális áramlatnagyság átlagos értékei

A csúcspontok közötti átlagos távolság értékek alapján osztályoztam a csomóponti és települési funkcióval is rendelkező csúcspontokat, melynek eredményét az alábbi ábra szemlélteti. A gráf szerkezetéből adódóan egyes jellemzők a hálózat szélén helyezkednek el.

csúcspontok távolabb helyezkednek el a gráf többi csúcspontjától. A gráf többi csúcspontjától távolabb elhelyezkedő csúcspontok esetében célszerű a kapcsolódó kritikus hálózati elemeket kiemelt figyelemmel kezelni, tekintve, hogy egy váratlan természeti jelenség e csúcspontokra, illetve a környezetükben található hálózati elemekre kiemelten kritikus hatást gyakorolhat. Ez alapján a 6. sz. csúcspont (Sopron) és 23. sz. csúcspont (Gyula) környezetében található hálózati elemekre egy váratlan természeti jelenség kiemelten kritikus hatást gyakorolhat.



4. ábra: a csúcspontok közötti legrövidebb útvonalak átlagértékei

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben a közúthálózat megfelelő működését korlátozó külső hatások – mint pl. a természeti csapások eredményeként elálló vészhelyzetek – szempontjából leginkább kritikusnak minősülő közúthálózati elemek azonosítását végeztem el. Az elemzés során a hazai közúthálózatot gráfként vizsgáltam, mely 131 csúcspontot és 236 élet tartalmaz.

A Dijkstra által bevezetett legrövidebb útvonal kereső algoritmus, valamint Ford-Fulkerson féle maximális áramlatnagyság meghatározására irányuló eljárás segítségével azonosítottam azon hálózati elemeket, melyek sérülése kiemelten kritikus hatást gyakorolhat a hálózat

m ködésére, illetve melyek környezetében a mentés számára rendelkezésre álló infrastruktúra, a hálózat többi részéhez képest kisebb átbocsató képességgel rendelkezik.

A módszertan kidolgozásával és eredményes alkalmazásával sikerült megvalósítani a kit zött kutatási célokat, azonban a módszer fejlesztésével az eljárás alkalmazhatósága tovább javítható. Jöv beni fejlesztési terveim szerint a földrajzi távolságok alapján leképezett hálózatot felváltja az eljutási id alapú reprezentáció. Emellett a kutatás következ lépésében szerepet kap a közúthálózat egyes elemeinek sérülése folytán kialakuló forgalomátrendez és becslése, mely kifejezetten a kapacitáskorláthoz közel m köd rendszerelemek, vagy több hálózati elem együttes sérüléséb l adódó hatások becslése esetén bír jelent séggel. Végül kiemelt kutatási célként azonosítom a jelen cikkben rögzített hálózati elemek sérülésére, illetve mentésére vonatkozó következtetések igazolását.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Arun, A., Velmurugan, S., & Errampalli, M. (2013). Methodological Framework Towards Roadway Capacity Estimation for Indian Multi-lane Highways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 477–486. doi:10.1016/j.sbspro.2013.11.141
2. Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1959), 269–271. doi:10.1007/BF01386390
3. Greenberg, H. J. (1998). Ford-Fulkerson Max Flow Labeling Algorithm. *Mathematical Programming Glossary*, 1–5.
4. Leal, E., Oliveira, D., & Porto, W. (2014). Determining critical links in a road network : vulnerability and congestion indicators. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 162(Panam), 158–167. doi:10.1016/j.sbspro.2014.12.196
5. Luathep, P. (2013). Identification of Critical Locations in Road Networks due to Disasters. *Proceedings of the ...*, 9. Retrieved from <http://easts.info/online/proceedings/vol9/PDF/P42.pdf>
6. Sawitzki, D. (2004). Experimental studies of symbolic shortest-path algorithms. *Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 3059(1126), 482–497. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-24144480325&partnerID=40&md5=555820bdd2e58c4e9560bd2e9694b241>

7. Sufyan, N., Saqib, N., & Zia, M. (2013). Detection of jamming attacks in 802.11b wireless networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2013, 208. doi:10.1186/1687-1499-2013-208

Dr. Török Árpád, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék,

artorok@kgazd.bme.hu

ORCID azonosító: orcid.org/0000-0002-8573-6345

A kézirat benyújtása: 2016.08.10.

A kézirat elfogadása: 2016.09.20.

Lektorálta:

Dr. habil Vass Gyula t. ezredes,

Dr. Mógor Judit t. ezredes,