



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar
Út és Vasútépítési Tanszék

Városi úthálózatok sérülékenységének vizsgálata online adatok alapján

című PhD értekezés tézisei

Schuchmann Gábor
okleveles építőmérnök

Tudományos vezető:

Dr. Fi István
egyetemi tanár, tanszékvezető
az MTA doktora

Budapest, 2009.

TARTALOMJEGYZÉK

1. A KUTATÁSI TÉMA INDOKOLTSÁGA	3
2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI	4
3. A KUTATÁS ESZKÖZTÁRA ÉS MÓDSZERTANA	5
4. TÉZISEK	8
5. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	15

1. A KUTATÁSI TÉMA INDOKOLTSÁGA

Úthálózatok sérülékenységének vizsgálata az utóbbi kb. 10 évben (pontosan 1995, a Kobe-i földrengés óta) került egyre növekvő figyelem középpontjába. Ennek magyarázata, hogy egyre több okból (elsősorban torlódás, balesetek és felújítási-javítási munkák, de ritkán szélsőséges természeti jelenségek miatt) egyre gyakrabban és egyre hosszabb időszakokra kerülnek a modern társadalom gerincét (is) alkotó városi utak legalábbis erősen gátolt működésű állapotba.

A szabad piaci verseny és az elérhetőség kritériumainak megfelelően a minden egyes nap 24 órájában üzemelő úthálózat megbízhatósága elsőrendű társadalmi és gazdasági érdek, így a megbízható működést bármilyen szempontból, bármilyen módon veszélyeztető, sebezhető pontok/helyek feltárása is.

Az utazót (teljesen természetes módon) a saját maga által bejárni kívánt viszonylat érdekli. A legjobb esetben adott időpontban indulva, a kívánt útvonalon a kívánt közlekedési módot használva a kívánt/elvárható/megszokott időpontban éri el úticélját, míg a legrosszabb esetben az adott időpontban indulva nincs olyan közlekedési mód és/vagy útvonal, amelyek számára elfogadható érkezési időpontot biztosítanak. A két véglet közötti összes eset a hálózat bizonyos elemeinek bizonyos fokú működési anomáliáira, „sérülésére” enged következtetni. Ugyanakkor a kiszámíthatatlanul, hirtelen összeomló hálózat(rész) bizonytalanná, súlytalanná teszi még a dinamikus útvonalajánlatokat is, hiszen (a megbízhatósággal nem kalkulálva) rossz esetben szinte semmivel nincs előrébb a felhasználó/utazó, mint útvonalajánlat nélkül.

A városi úthálózatok használóinak és üzemeltetőinek tehát (mint a közlekedési információs rendszerek felhasználóinak) óriási előrelépés lenne egy-egy útvonal tervezése kapcsán a megbízhatóságot olyan módon kezelhetővé tenni, hogy a különböző útvonalak akár eltérő módon számított sérülékenységét laikusként is kezelni tudják. Így a felhasználó számára érthető és kezelhető egyetlen olyan paraméterrel kell ezt kifejeznünk, amelyet a mérnöki számítások és modellek is megfelelően tudnak kezelni, és azonosan értelmezik azt a felhasználóval: az utazási idő várható bizonytalanságának nagyságával és/vagy mértékével.

A sérülékenység vizsgálata kutatásaim szerint nem egyetlen általános definíció és az ahhoz tartozó módszer szerint történik, de még a probléma és a megoldások diszkussziója sincs sem definiálva, sem tudományosan alátámasztva. Így tehát adott a lehetőség, hogy a különböző (forgalmi, természeti, hálózati) körülmények paramétereinek vizsgálatával, azok függvényében elemezzük a sérülékenység műszaki vonatkozású összefüggéseit, felhasználási lehetőségeit.

2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

Jelen értekezés tárgyát a városi hálózat(részek) pillanatnyi sérülékenységeinek vizsgálata és előrebecslése képezi, amelyet pillanatnyi mérési adatokkal dolgozó szimuláció adatbázisainak elemzésével valósít meg. Vizsgáltam tehát a sérülékenység néhány mérőszámának (gyengeség, veszélyeztetettség, stb.) és a közúti forgalom mért (pl. forgalomnagyság, pillanatnyi sebességek, követési távolságok, stb.) és származtatott (pl. járművezetők útvonalválasztása, befolyásolhatósága, stb.) paramétereinek összefüggéseit.

A vizsgálat során a forgalomfigyelő kamerák képéből közvetlenül kinyert adatokat (forgalomnagyság, járműsűrűség, sebességek, követési időközök és követési távolságok) feldolgozva olyan összefüggés-rendszert igyekeztem előállítani (pl. követési távolság a sebesség és a forgalomnagyság/járműsűrűség függvényében), amelynek segítségével a pillanatnyi forgalmi viszonyoknak megfelelően paraméterezhető a forgalmi modell, tehát valós „kép” alapján számíthatjuk a sérülékenységet.

Megvizsgáltam továbbá, hogy mely mérőszám mely esetekben lehet alkalmas városi úthálózatok sérülékenységeinek jellemzésére, az üzemeltetés, a fejlesztés és a fenntartás egyes kérdéseinek értékelésére. Különös figyelmet szenteltem az alábbi kérdéseknek:

1. A forgalomfigyelő kamerák képeit elemző szoftver adataiból milyen összefüggések olvashatók ki és használhatók fel a szimulációban?
2. Az egyes sérülékenységi definíciók közül melyik áll leginkább közel az egyes információs célközönségek igényeihez (pl. az utazót az utazási idő érdekli)?
3. Hogyan lehet befolyásolni a pillanatnyi paraméterek ismeretében a sérülékenység várható alakulását forgalomtechnikai eszközökkel?
4. Alkalmas-e a sérülékenység vizsgálata egyes hálózati sérülések közötti sorrendi kérdések eldöntésére?
5. Alkalmas-e a sérülékenység-vizsgálat hálózati változatok értékelésére adott forgalmi igények mellett?

Az értekezés célkitűzése tehát a sérülékenység szimulációs vizsgálata, valamint a sérülékenység-vizsgálat, mint útvonal-keresési, hálózatfejlesztési és üzemeltetési döntéstámogató eszköz egyes részleteinek elemzése és minősítése.

3. A KUTATÁS ESZKÖZTÁRA ÉS MÓDSZERTANA

A téma irodalmának feldolgozása két nagyobb részletben zajlott. Először a sérülékenység szakirodalmát tekintetem át, majd a szimuláció irodalmának kutatása következett.

Az értekezés második fejezete igyekszik teljes képet adni a **sérülékenység** vizsgálatának szakirodalomban említett módszereiről, azok alkalmazási területeiről. A kezdetben felmerült igényeket (a működés valamiféle megbízhatósága, mint paraméter) áttekintve az igények megfogalmazásán át jutunk el a legtöbbet idézett módszerekig.

Kutatásaim igazolták azt a szakirodalomban sűrűn elhangzó megállapítást, miszerint nincs széleskörűen elfogadott definíciója a közlekedési hálózatok sérülékenység-vizsgálatának. Széleskörű egyetértés mutatkozik viszont abban, hogy a definíciónak a sérülékenységre, mint a veszélyek hálózatra gyakorolt HATÁSAIRA, és nem magukra a veszélyekre kell koncentrálnia. A módszerek általában alkalmasak különböző alternatívák összehasonlítására, de az egyes bemenő paraméterek becsléséből adódó bizonytalanságok/pontatlanságok halmozódása miatt abszolút értékben meglehetősen pontatlan eredményeket adnak. További hátrányuk, hogy működő közlekedési hálózatokon az egyes forgalmi paraméterek folyamatos változását követni csak igen nehézkesen (vagy egyáltalán nem) tudják, nem is beszélve a mért adatokból származó eredmények pontatlanságának további növekedéséről, amennyiben előre szeretnénk becsülni az egyes paramétereket (forgalom, követési idő, sorhossz, stb.).

A sérülékenység vizsgálatokor tehát elsősorban a jövőben várható események kiváltotta hálózati hatások elemzésével kell válaszolni a három fő kérdésre: HOL sérülékeny? MILYEN sérülés? HOGYAN sérült meg? Az e kérdésekre adott válaszok egymástól a legritkább esetben választhatók el, nagy valószínűséggel egy ok-okozat sorozat a három kérdésre az együttes válasz. Kutatásaim során igazolódott, hogy nevezéktanilag is igen problémás terület a sérülékenység-vizsgálat, hiszen a különböző definíciók (mit is értünk sérülékenység alatt?) teljesen más megvilágításba helyeznek azonos névvel illetett fogalmakat.

Vizsgáltam a *veszélyeztetettségi index módszerét*, amely minden egyes szakaszhoz olyan gyengeségi mérőszámot rendel, ami az adott hálózat honnan-hová mátrixa szerinti fontosságot fejezi ki aszerint, hogy hány viszonylat forgalma veszi igénybe az adott szakaszt. Ezen kissé túlmutat az *általánosított utazási költségek módszere*, amely a fontosság és veszélyeztetettség Nicholson-féle definícióját használja. Ebben a megközelítésben a fontosság a szakaszok hálózaton belüli jelentőségével függ szorosan össze, míg a veszélyeztetettség az utazási költségeknek a

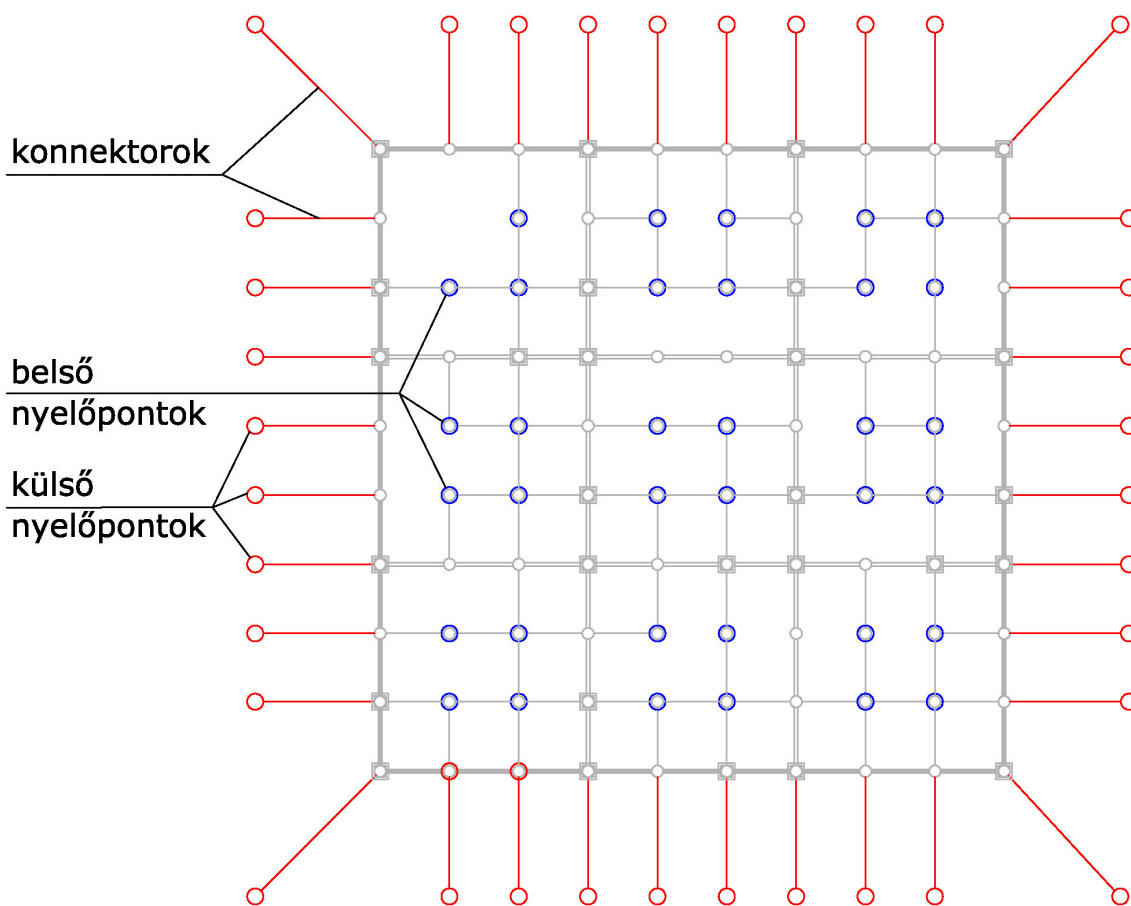
hálózat adott eleméhez tartozó növekedését tükrözi. További vizsgálatokat folytattam a *kritikus forgatókönyv módszerének* alkalmazásával. Így egy adott geometriájú hálózaton adott célforgalmi mátrixszal történő terhelés esetén az összes lehetséges helyett csak néhány jelenetet kellett megvizsgálni ahhoz, hogy a hálózat sérülékenységének kritikus változását nyomon követhessem. Végül *többkritériumos hatásvizsgálattal* különböző egyedi hatások különböző mértékű, együttes vagy önálló befolyását igyekeztem figyelembe venni a kísérleti hálózaton. Itt a legfontosabb ismérve a sérülésnek a megszokott utazási időn felül adódó várakozási/késedelmi idő.

Az értekezés harmadik fejezete a **szimuláció** témakörének irodalmából azokat a fejezeteket járja körül, amelyek az előzőekben bemutatott téma szempontjából hasznosak lehetnek a gyakorlati megvalósítás során. Szó esik a szimuláció matematikai összefüggéseiről, a közúti forgalom szimulációba építhető determinisztikus és stochasztikus modelljeiről, valamint tipikus és speciális, elvileg különböző szimulációs módszerekről. Bemutatom itt a klasszikus mikroszimulációt, mint alapelveket, a magatartási szimulációs modelleket, Wiedemann járműkövetési modelljét, valamint a sejtautomatákat, mint speciális megoldást a közlekedési szimuláció problémájára.

Fenti téma ismérvei alapján olyan eseményvezérelt, diszkrét idejű szimulációt kellett igénybe vennem, ami lehetővé teszi a sérülékenységnek, mint a hálózat egyes elemeihez és a járművekhez tartozó adott és mért paraméterek összefüggésének vizsgálatát. Éppen ezért a legegyszerűbbnek az tűnt, ha a szimuláció eredményeit kezelni képes adatfeldolgozó szoftver bemenő adataiként minden egyes időlépésben minden egyes jármű pontos helyét adom meg. Ebből ugyanis az összes többi, a hálózat egyes elemeihez rendelhető attribútum származtatható (sebesség, forgalomnagyság, forgalomsűrűség, eljutási idők, szolgáltatási szint, összes utazási idő, stb.).

Vizsgálataim módszertana szerint az összefüggések vizsgálatához a városi közúti forgalom térbeli és időbeli jellemzőit egy fiktív városi hálózaton zajló, de valós, pillanatnyi mérési adatokkal kalibrált szimuláció eredményei szolgáltatják. A *HálóSzim* szimulációs program egy modulja segítségével a szimuláció teljes időtartama alatt az összes áthaladó jármű összes időpillanatban rögzített összes adatát elemezhetjük, majd egyes bemenő paramétereket pedig (kalibrációs vagy kísérleti/mérési céllal) módosíthatunk.

Az értekezés negyedik fejezete részletezi a vizsgálathoz felhasznált modell felépítését, a szoftver működését, valamint a modell kalibrálásához szükséges méréseket. A modell egy fiktív városi főúthálózat, amely egy 10x10-es, 1000 méter élhosszúságú pontrácsra épül (1. ábra). A hálózatnak geometriailag 9 különböző változata van, amelyek egy város fejlődéséhez tartozó egyes közúthálózat-fejlettségi szintek típusait modellezik. Ezekre többféle reggeli csúcsóra-forgalmat terheltem, és vizsgáltam az egyes sérülékenységi definíciók és a forgalmi paraméterek összefüggéseit. A kalibrálás során olyan mozgóképből származó valós járműfolyamokat generáltam a ráterheléshez, amelyeket valós forgalomfigyelő kamerák képeinek alapján számítógéppel hoztam létre a megfelelő szoftver segítségével.



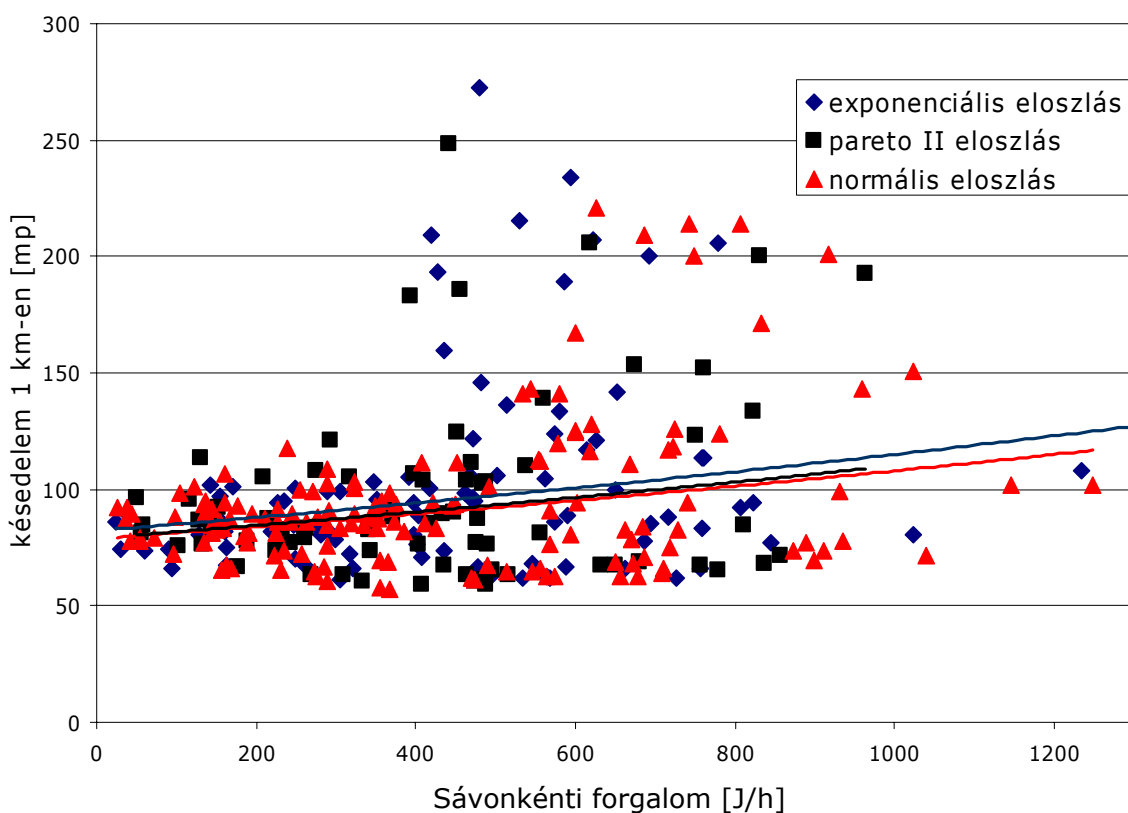
1. ábra: A vizsgált modell geometriai felépítése

A hálózat sérülékenységeinek vizsgálatához definiáltam különböző típusú hálózati rontásokat, amelyek hatásait a hálózaton a szimulációs modell minden változatán minden forgalmi mátrixszal leterhelve megvizsgáltam. Az így kapott eredmények választ adnak a kutatás kezdetén feltett kérdésekre, a célkitűzések tehát teljesültek.

4. TÉZISEK

1. TÉZIS

Városi főúthálózat szimulált modelljén kimutattam, hogy fix működésű forgalomirányító rendszer esetén (annak befolyásolása nélkül) a hálózatba lépő járművek időbeli eloszlása exponenciális, pareto II és normális eloszlást vizsgálva nincs befolyással belső élek közötti forgalmának mérhető összefüggéseire (2. ábra).



2. ábra: A forgalom-késedelem függvény alakulása egyes betáplálási eloszlások esetén a 236 jelű élen

A megfigyelt forgalom bizonyos szekvenciájának időszakonkénti pontos rögzítésével (járművek kategóriája, elhaladási sebesség és időpont), majd teljes pontosságú (ismételt) beolvasásával az előrejelzések pontossága elsősorban (időben és térben) rövid távon jelentősen növelhető.

A mindennapi gyakorlatban városi körülmények között a forgalom jellemző paraméterei rövid időn és rövid távon belül

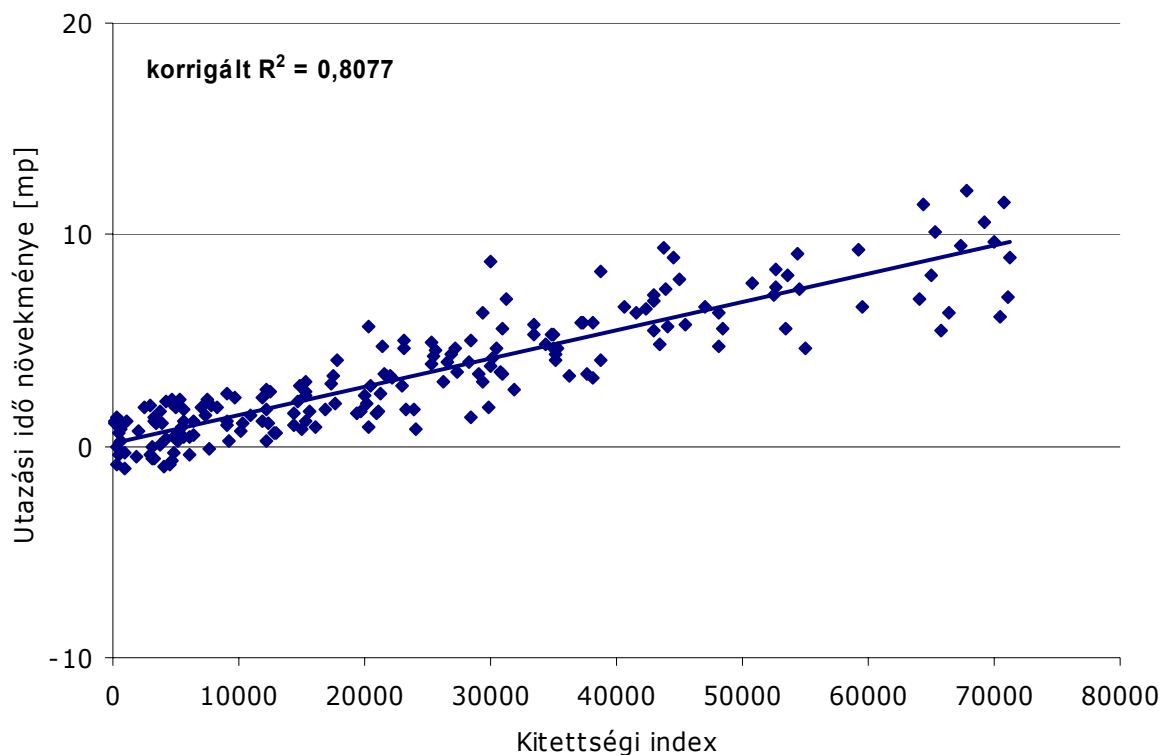
is az átlaghoz képest óriási szóródást mutatnak. Emiatt legfeljebb a forgalomirányító rendszer rugalmasságát feltételezve van értelme e módszer használatának (ha a jelzőlámpás forgalomirányítás azonnal alkalmazkodni tud egy megváltozott helyzethez). Ilyen lehet például az elterelt autóbusz-forgalom: a kijelölt kerülő úton a buszsáv forgalma hirtelen megnő, így az esetleges előnyt és a menetrend tartását biztosító jelzőlámpák azonnal a megváltozott viszonyoknak megfelelően működhetnek.

A módszer továbbgondolása során meg lehet próbálni a forgalomirányító rendszer működését a forgalmi igényekhez igazítani, és a tézist ennek alapján kibővíteni. Ennek a jelenlegi módon eljárva több akadálya is van, amelyek közül a két legfontosabbat mindenképpen ki kell tudni küszöbölni a gyakorlatba is átültethető eredmények eléréséhez: a folyamatot automatizálni kell, és nagyságrendekkel meg kell növelni a sebességét.

2. TÉZIS

Vizsgálataim alapján szimulált városi körülmények között a veszélyeztetettségi indexből azokon a hálózati elemeken becsülhető jól ($R^2 > 0,8077$) az utazási idő növekedése, amelyek veszélyeztetettségi indexe 72 000 alatt van, és nincsenek gátolt működésű (sérült) állapotban. [5]

A vizsgálat során képeztem a teljes hálózat összes elemén minden forgalmi helyzetben az egyes rontásokhoz tartozó utazási idő és az eredeti utazási idő különbségét, amelyet a veszélyeztetettségi indexszel párba állítva vizsgáltam. A 8748 adatsor átlagaiból megállapítottam (5.2 ábra), hogy a korreláció az esetek 15,7 %-ában nagyobb, mint 90 %, 40,2 %-ában nagyobb, mint 80 %, és 81,9 %-ában nagyobb, mint 50 %. A fennmaradó 18,1 %-ból (1583 adatsor) csak 44 mutatott nagyon rossz (20 % alatti) korrelációt, amelyek közül egy sem negatív. A nagyon rossz korrelációt mutató hálózati elemek semmilyen paraméterük szempontjából sem tipikusak (hely, forgalom, gyengeség, sávszám), kivéve a tényt, hogy maguk a sérült elemek ezek. A nagyon nagy sérülékenységgel bíró elemeket elhagyva a korreláció ismét tovább nő (3. ábra), így a veszélyeztetettségi index és az utazási idők növekménye közötti összefüggés itt már megállapítható.

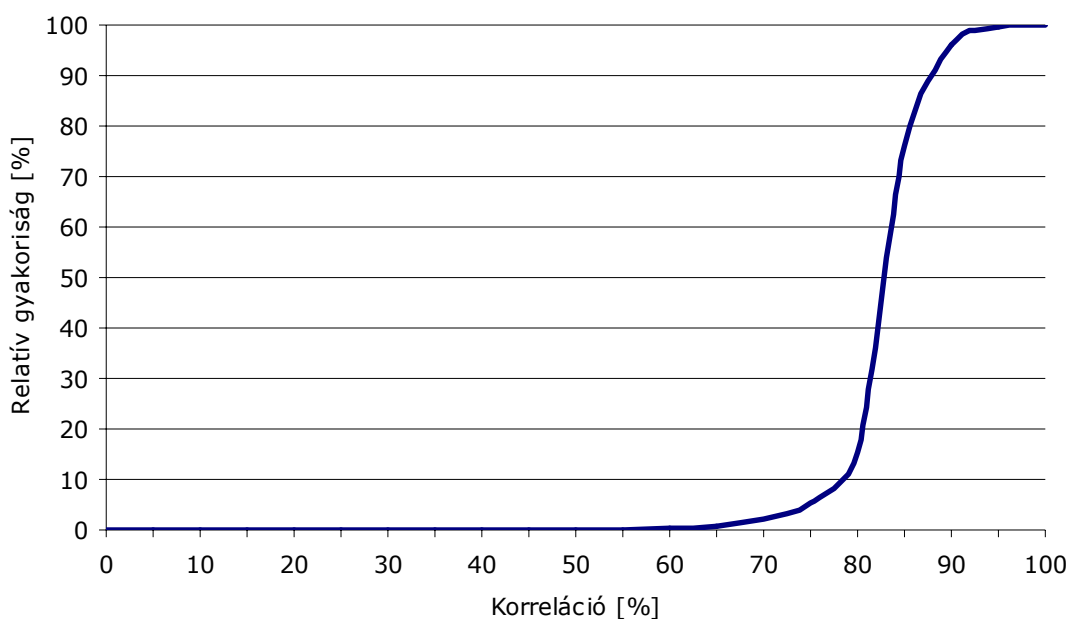


3. ábra: A veszélyeztetettségi index és az utazási idők változásának korrelációja a sérült elemek adatai nélkül, kisebb (maximum 72 000-es) veszélyeztetettségi index esetén (az esetek 2/3-a)

3. TÉZIS

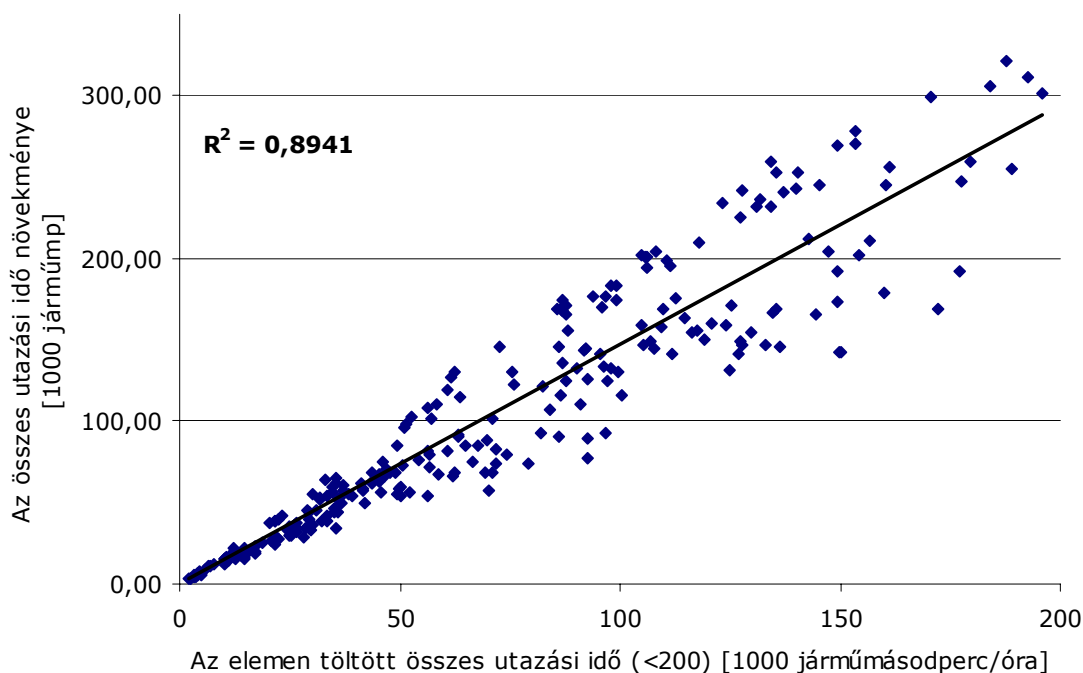
Az általam vizsgált szimulált városi főúthálózat elemeinek az általánosított közlekedési költségek módszerével összehasonlított jelentősége, azaz a teljes hálózaton okozott összes időveszteségük jól becsülhető (85 %-ban $R^2 > 0,9$) az elemek forgalmi teljesítménye alapján, ha az nem haladja meg a 200 000 járműmásodperc/óra értéket (4. ábra). [13]

A vizsgálati módszer egy adott állapotú (adott forgalmi mátrixszal terhelt) hálózaton meghatározza az egyes elemek sorrendjét azok összes járműidejét (teljesítményét) figyelembe véve, majd az összes elemen azonos sérülést generál. Az így létrejövő sérült hálózatok összes utazási idejének és az eredeti hálózat összes utazási idejének páronkénti különbségei, valamint a járműteljesítmények összefüggését keresve általában egy hatványfüggvény illeszkedik legjobban ($R^2 > 0,9$) a pontokra.



4. ábra: Az egyes korrelációk relatív gyakorisága (<200 000 járműmásodperc mellett)

Mérnöki szemlélettel azonban e hatványfüggvénynek az elemenkénti kb. 200 000 járműmásodperces határ fölött nincs sok köze a pontokhoz. A pontok jól láthatóan két jellegzetes tartományra bonthatók: az első tartományban egy olyan egyenes mentén sűrűsödnek (5. ábra), ahol az összes vizsgált eset korrelációja 85 %-ban $R^2 > 0,9$ (4. ábra), majd kb. 200 000 járműmásodperces határ fölött rossz korrelációval egy másik egyenes mentén helyezkednek el.

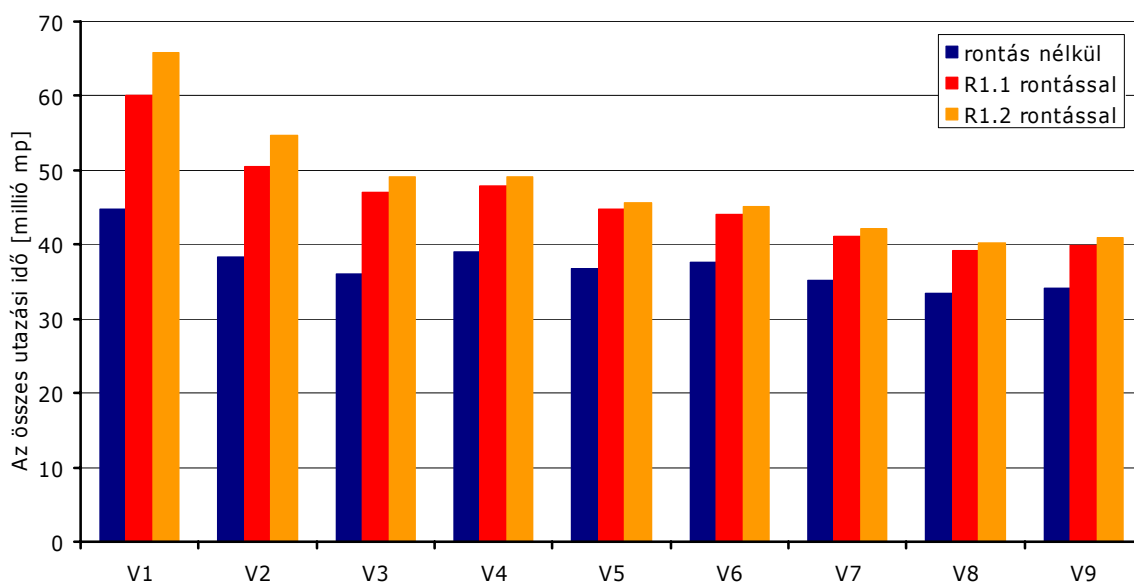


5. ábra: A hálózat összes utazási idejének teljesítmény szerinti növekménye

4. TÉZIS

Vizsgálataim igazolták, hogy szimulált városi körülmények között a kritikus forgatókönyv módszerének általánosításával az utazási idők növekményei alapján a vizsgált hálózati rongások alkalmazásának és sérülések megszüntetésének sorrendi kérdései egyértelműen megválaszolhatók [3].

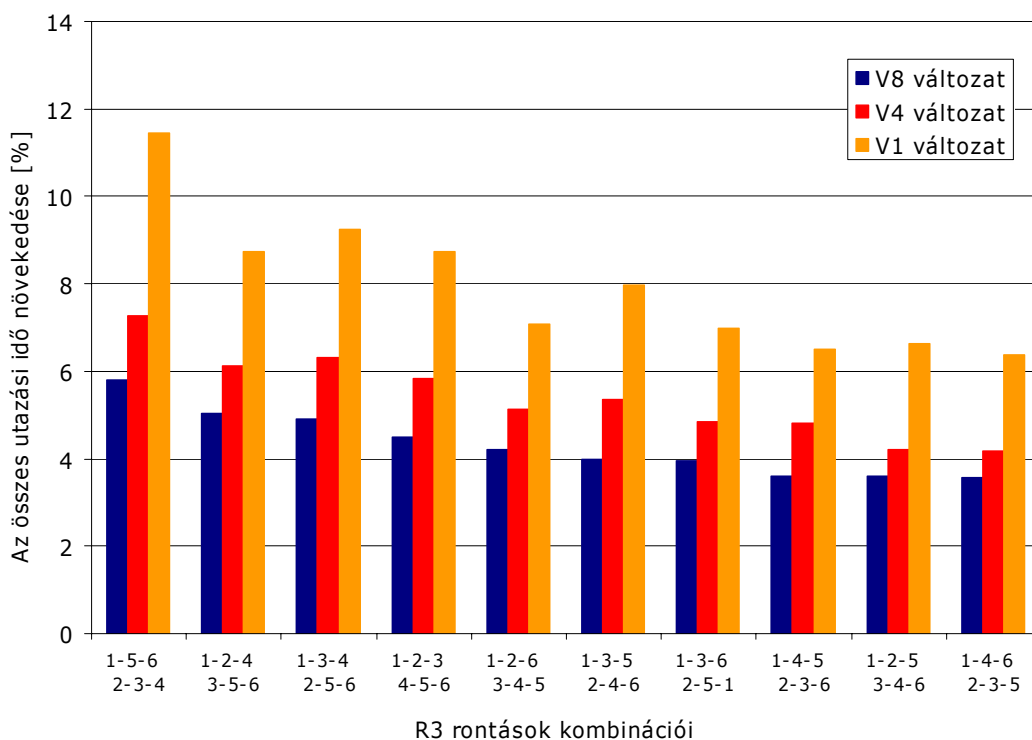
A nagy kiterjedésű rongásokat vizsgálva az egyes hálózati változatok egyre növekvő átbocsátó képességéhez (kivételem a V9 változat) képest többnyire egyre kisebb relatív növekményt okoz az adott sérülés az összes utazási időben (6. ábra).



6. ábra: Az összes utazási idő változása nagy kiterjedésű rongások hatására

Az *csomóponti rongásokat vizsgálva* az eredmények erősen változóak. Egyes csomóponti rongások hatása az összes utazási időre elenyésző (tized ezrelékekben mérhető), másoké pedig a szimulációs forgalombecslés hibahatárán belüli. A többsávos főutak csomópontjait érő rongások hatása az összes utazási időre is csak az első három hálózati változaton haladja meg a 0,5 %-os növekedést.

Az *útfelújítás típusú rongásokat vizsgálva* arra a kérdésre kerestem választ, hogy ezek mely kombinációban okozzák a lehető legkisebb növekedést az utazási időkben. Ezért összeállítottam egy 6 elemből álló útfelújítási csomagot, amelyet az összes lehetséges (10 féle) 2x3-as csoportra bontva vizsgáltam 3 hálózati változaton. Az eredményeket a 7. ábra szemlélteti.

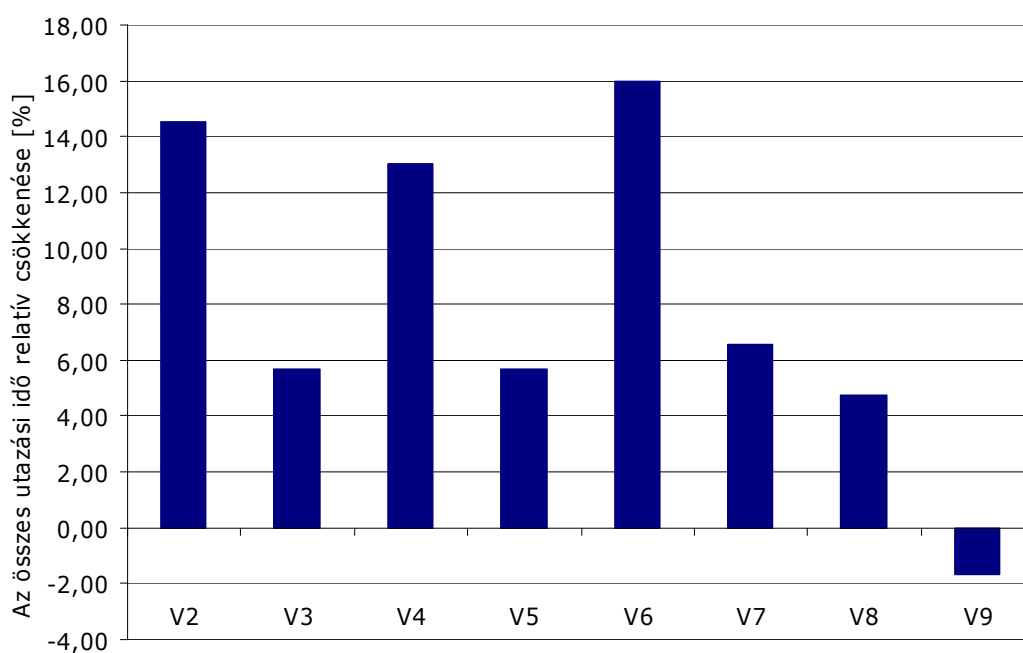


7. ábra: Az egyes R3 rontáskombinációk által okozott idővesztés az összes utazási idő arányában

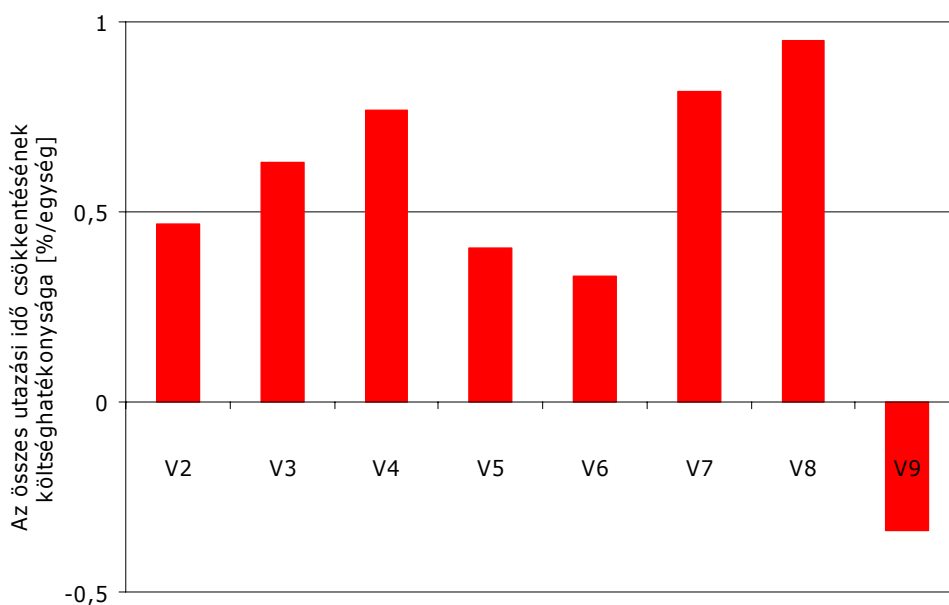
5. TÉZIS

Vizsgálataim igazolták, hogy szimulált városi körülmények között a többkritériumos hatásvizsgálat módszerével az utazási idők növekményeinek rontások és fejlesztések általánosított költségeire (építési és üzemköltségek, zaj, légszennyezés, forgalombiztonság) vetített fajlagos értékeinek vizsgálata alapján sorrend adható e rontások és fejlesztések, vagy ezek csoportjainak együttes megvalósítására. [3]

E módszerrel összehasonlítottam az egyes változatokat, mindig a közvetlenül megelőzőhöz képest számítva az összes eljutási időben bekövetkező javulás értékeit (8. ábra). Ilyen összehasonlításban az egyes fejlesztésekhez (durván becsült fajlagos költségeket felhasználva) építési költséget rendeltem, és költséghatékonyság szempontjából új sorrendet állítottam fel (9. ábra).



8. ábra: Az egyes változatok hatása (az összes utazási idő relatív csökkenése az előző változathoz képest)



9. ábra: Az egyes változatok hatása költségeik arányában (az összes utazási idő relatív csökkenése az előző változathoz képest az építési költség arányában)

5. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Lektorált folyóiratcikkek

1. Schuchmann Gábor: Additions to and important remarks on the new hungarian road design standard. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.* Vol. 46, No. 1, pp. 3-15 (2002)
2. Schuchmann Gábor: Assessment of bus priority systems' efficiency. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.* Vol. 48, No. 1-2, pp. 133-140 (2005)
3. Schuchmann Gábor: Road network vulnerability – Evaluation of measures in ranking damages and developments. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.* Vol. 53, No. 2 (2009, megjelenés alatt)

Nem lektorált folyóiratcikkek

4. Devecseri Gabriella – Ercsényi Balázs - Schuchmann Gábor: Békés Megye hosszú távú közúthálózat-fejlesztési tervének korszerűségi felülvizsgálata. *Közúti és Mélyépítési Szemle 2006/11-12. szám* pp. 31-35. (2006)
5. Schuchmann Gábor: Hálózati sérülékenység szimulációs vizsgálata – A veszélyeztetettségi index módszerének értékelése. *Közlekedésépítési Szemle* (2009, megjelenés alatt)

Nemzetközi konferencia kiadványában megjelent idegen nyelvű előadások

6. Schuchmann Gábor: Two different methods to determine generated traffic using road network modelling. *Proc. I. PhD. Civilexpo* pp. 145-150. (2002)
7. Schuchmann Gábor: Tools and their evaluation to develop transportation using the existing infrastructure in the Balaton region. *Proc. II. PhD. Civilexpo* pp. 137-141. (2004)

Nyomtatott egyetemi jegyzet

8. Schuchmann Gábor – Kisgyörgy Lajos: Közlekedéstervezés – Utak. *Egyetemi jegyzet*. Azonosító: 95037, 136 oldal. Műegyetemi kiadó (2001)

Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia-előadások

9. Schuchmann Gábor: Tervezési paraméterek az új magyar „Közutak Tervezése” szabványban. Észrevételek és kritika. *Proc. ÉPKO 2001 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia* pp. 195-203. (2001)
10. Schuchmann Gábor: A regionális közlekedés szervezésének fejlesztése – eszköztár és értékelés. *Proc. ÉPKO 2003 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia* pp. 318-327. (2003)
11. Schuchmann Gábor: Hálózati egyensúlyi modell alkalmazása célforgalmi mátrix ismerete nélkül. Egy főút-szakasz kiváltásának forgalmi tanulmánya. *Proc. ÉPKO 2004 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia* pp. 195-203. (2004)
12. Schuchmann Gábor: Közúti forgalmi körülmények javítása videokamerás forgalomfigyelő rendszer segítségével. *Proc. ÉPKO 2005 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia* pp. 262-265. (2005)
13. Schuchmann Gábor: Közlekedési hálózatok sérülékenységeinek aspektusai – az általánosított közlekedési költségek módszere alkalmazásának egyes korlátai *Proc. ÉPKO 2009 Nemzetközi Építéstudományi Konferencia* pp. 420-427 (2009)

Elektronikus egyetemi jegyzet (www.epito.bme.hu/uvt)

14. Schuchmann Gábor: Intelligens közlekedési rendszerek. 169 oldal, előadásfóliák. (2004)
15. Schuchmann Gábor: Közlekedési számítástechnika. Levelező tagozatos hallgatóknak. 115 oldal, előadásfóliák. (2005)