

**Mottó: A téma az úttesten áll.
Csak meg kell számolni.**

Ruzsányi Tivadar

TORLÓDÁS

A VÁROS NEM LINEÁRIS, SZTOCHASZTIKUS - SORBANÁLLÁSI - RENDSZER

**URBANISZTIKAI TANULMÁNY ÖSSZEFOGLALÓJA EGY BUDAPESTI
ADATFELVÉTELRE TÁMASZKODVA, BUDAPEST, 2003. DECEMBER HÓ**

Bevezető: a nagy „torlódás”¹

A legutóbbi (2003. augusztus 13.) hatvanegy gigawattnyi áramkimaradás Kanadában és az Egyesült Államokban több mint harmincmillió háztartásban közel hatvanmillió embert sújtott. *A városokban leállt a közlekedés, nem működtek a jelzőlámpák, megállt a metró, az emberek a liftekben rekedtek. Estére sem sikerült helyreállítani a közvilágítást. A hőségtől rosszul lettek elárasztották a kórházakat. New Yorkban szükségállapotot rendeltek el. A polgármester arra kérte a lakosságot, hogy úgy kezeljék a helyzetet, mintha „havazás bénította volna meg a várost”. A legnagyobb gondot a bankautomaták leállása okozta, bár a bankrendszerben nem történt kimaradás. Az irányítás zavarai miatt a repülési hatóságok felszállási tilalmat rendeltek el mind a három New York-i repülőtéren. A New York-i színházakban elmaradtak az esti előadások(!), a délutániakat meg kellett szakítani(!).*

Az Egyesült Államok történetében ez volt a harmadik nagy áramszünet. 1965-ben atomháborúnak hitték a sötétség okozóját. 1977-ben súlyos zavargások törtek ki. Most terrortámadástól tartottak az emberek.

Az 1965-ös nagy áramszünet után - amelyet 1959-ben és 1961-ben is megelőzött egy-egy kisebb - megalakult az Észak-amerikai Energiabiztonsági Tanács (NERC), amelynek célja az áramszolgáltatók és -továbbítók közti együttműködés összehangolásával a válsághelyzetek elkerülése. Ez sokáig sikerült is, hiszen az 1977-es kimaradás csak New Yorkot érintette, és az okozta, hogy egy nyári vihar során két erőműbe is villám csapott. Az első figyelmeztető jelzés az USA nyugati részét érte, ahol 1997-ben kiterjedt áramszünet volt, három és fél éve pedig Kaliforniában lépett föl villamosenergia-hiány.

A NERC már a kilencvenes évek végétől figyelmeztetett, hogy az energiapiac liberalizációja folytán lanyhult áramszolgáltatók együttműködése. *E mellett az USA több részén, de*

¹ Ennél a résznél sokat segített az események áttekintésében index.hu és a hvg.hu archívuma.

különösen Kaliforniában és a keleti partvidéken az urbanizáció, a gazdasági növekedés és a technológiai fejlődés energiaigényével mind kevésbé tud lépést tartani a kínálat, azaz a kereslet meghalad egy elviselhető, kritikus értéket. A New Yorkot és környékét ellátó hálózat ugyanis a teljesítőképessége határán van, és egy nagy áramszünethez elegendő, ha egy kánikulai napon a kiugró fogyasztás mellett lekapcsolódik valamelyik erőművi egység. Az első megállapítások szerint három távvezeték meghibásodása indította el a folyamatot, majd egy kanadai és egy New York-i erőmű kapcsolódott le. A hiányt a hozzájuk kapcsolt erőművek megpróbálták pótolni, de ekkor az erőművek közötti vezetékeken fellépő túlterhelés miatt az automaták a még működő erőműveket kapcsolták le. Végül leállt huszonegy erőmű, amelyek közül tíz atomerőmű volt. A Washington Post szerint a rekordmértetű áramkimaradás az áramellátó rendszer túlságos integráltsága miatt következett be.

„A véletlenek összejátszása” – nyilatkozta a közelmúltban egy szakértő a rádióban a nagy áramkimaradásról. Való igaz. Habár tudjuk, hogy télen általában hideg szokott lenni, nyáron meg meleg, a valóság valahogy mindig eltér az átlagtól. Télen az átlagnál jóval hidegebb, nyáron az átlagnál jóval melegebb okozza a gondot, amit nyáron színesítenek még a zivatarok és a villámok, télen pedig a havazás. Átlagos időjárási körülmények között a villamosenergia-ellátó rendszer elvisel néhány meghibásodást, akár három távvezeték meghibásodását is. Ilyenkor jól jön a rendszerintegráció, mivel az ellátó rendszer egyes egységeinél a viszonylag csekély kapacitástartalékok rendszerszinten összevonhatók. Az igazi probléma akkor következik be, amikor az amúgy ritkán előforduló véletlen események (időjárás és műszaki hiba) egyszerre jelentkeznek.

Nyilvánvaló, hogy még több kapacitás beépítésével, még nagyobb tartalékok képzésével növelhető az ellátás biztonsága. A kérdés persze mindig az, hogy hol, mikor, miből és mekkora tartalékot kell biztosítani ahhoz, hogy elkerülhetőek legyenek a nagy krachok. A kérdés megválaszolásához persze megfelelő szakmai és technológiai háttér, a megoldáshoz meg sok pénz szükséges. New Yorkban és környékén átlagosan cca. 20, pontosabban 20±10 évenként következik be a „nagy áramszünet”. Ha az itt lakók csak 100 évenként viselnék el a nagy „blackouts”-ot, azt valakinek mindenképpen finanszíroznia kellene, ha a biztonság növelése további kapacitások beépítésével történne. Az is megoldás lehet persze - elvileg -, ha az ellátási biztonság növeléséhez bizonyos időszakonként fogyasztói korlátozást vezetnek be. (A szélesebb körű korlátozásnak most persze kicsi az esélye.)

Bevezetőnkkel azt kívántuk illusztrálni, hogy miként is vezet az út a véletlentől a szükségállapotig. A nagyvárosi utakon viszont szinte már megszokott a közlekedési dugók miatt a „szükségállapot”. A tendencia arra utal, hogy a helyzet nem javul, sőt egyre rosszabbá válik, így a jelenség sokaknak kivédhetetlen sorscsapásnak tűnik. Bizonyos értelemben az is, habár feltárhatók azok a törvényszerűségek, amelyeknek ez a permanens szükségállapot engedelmeskedik. E törvényszerűségek ismeretében és alkalmazásukkal talán hatásosabban lennének megelőzhetőek a közutakon a torlódások, mint egyébként.

A probléma felvetése

„Az Európai Uniót gutaütés fenyegeti a központokban, és bénulás a külterületeken. A közlekedési dugók nemcsak elkésérítők, de Európa drágán fizet értük a termelékenységet tekintve is. Bár a torlódások többsége a városiasodott területeket sújtja, maga a transz-európai közlekedési hálózat is egyre inkább szenved a krónikus torlódásoktól.”

Ilyen jövőképet vázol számunkra is az uniós csatlakozásra felkészülés közben a <http://www.euforium.hu/euintegra-main.php> honlapon a FEHÉR KÖNYV. A jövőkép realitását az támasztja alá, hogy nálunk ugyanúgy, mint az Unióban, *a városiasodás térhódítása, az életmódbeli változások és a magán-személygépkocsi rugalmassága* - a tömegközlekedés nem mindig megfelelő színvonalával párosulva - az elmúlt 40 évben óriási mértékben megnövelte a városi utak forgalmát. Az előrejelzés szerint – ha nem történik érdemi beavatkozás, ha nem lépnek be új stratégiák – ez a tendencia fog az elkövetkező időben is folytatódni.

Mindez – a FEHÉR KÖNYV szerint - arra vezethető vissza, hogy a magán-személygépkocsinak szinte kizárólagos monopolhelyzetet biztosít a városrendezési- és a közlekedéspolitikai összehangolásának hiánya. A megnövekedett forgalom és a városi forgalmi torlódás pedig nagyobb levegő- és zajszennyezéssel, több balesettel jár együtt. Létezik egy tartós ellentmondás.

- A társadalom egyfelől egyre nagyobb mobilitást igényel,
- másfelől pedig egyre kevésbé viseli el egyes közlekedési szolgáltatások gyenge minőségét.

Az uniós szakértők arra figyelmeztetnek, hogy a helyi hatóságoknak a forgalomszabályozás egyre nagyobb problémájával kell megbirkózniuk, különös tekintettel a személygépkocsik szerepére a nagy városközpontokban. Önmagától tehát semmiképpen sem számíthatunk javulásra. Egyre többen ismerik fel azt is, hogy

- a forgalmi torlódás és a környezetszennyezés csökkentik a városi élet értékét,
- a forgalmi torlódás egyik legfőbb oka pedig a magán-személygépkocsik túlzott mértékű használatából fakadó megnövekedett forgalom.

A korszerű közlekedési rendszernek ugyanakkor mind gazdasági, mind szociális és környezetvédelmi szempontból fenntarthatónak kell lennie. *A bővítésből és a fenntartható fejlődésből eredő kereslet kielégítéséhez viszont a rendszer optimalására van szükség. Jelen tanulmánnyal ez utóbbi megalapozásához is hozzá kívánunk járulni.*

A túlzott forgalomból fakadó problémák persze nem csupán Európában jelentkeznek. A világ talán egyik leggazdagabb, legismertebb, az „információs kor” technológiája szempontjából vezető térségének települési szövetségét (ASSOCIATION OF BAY AREA GOVERNMENT) és az ott megtelepült cégek szövetségét (SILICON VALEY MANUFACTURING GROUP) a régió növekedéséből fakadó torlódási problémák közös kezelésére, a SILICON VALLEY – PROJECTION 2000 c. közös koncepció és program kidolgozására is döntően a közlekedési problémák késztették.

A Szilikon Völgyben jelenleg cca. 2,5 milliós népesség él, a munkahelyek száma pedig 800.000 körül mozog. Ennek megfelelően BAY AREA a nagyságrendek szempontjából a mi Központi Régiókhöz hasonlítható mind a népességet, mind a területet illetően. *Erre a térségre is jellemző a népesség bevándorlása, a népesség területi átrendeződése, ehhez kapcsolódóan a torlódás, amit persze itt is számos tényező befolyásol az ingatlanpiaci folyamatoktól az életmód változásáig.* Ezért nem meglepő, hogy a Szilikon Völgyben is ismerik azt a jelenséget, hogy alig fejezik be valahol valamelyik autópályát bővítését néhány sávval, nemsokára ismét óriási torlódásokkal kell számolniuk a bővítés körzetében, meg persze máshol is.

Mindez nem újdonság. „Az újabb utak csak újabb forgalmat gerjesztenek (a járműforgalom olyan, mint a víz: arra csurog, amerre rést talál). Ezt már több évtizeddel ezelőtt is felismerték. A brit közlekedési minisztérium egyik, 1963-ban készített tanulmánya szerint az új autópályák előnyei ellenére sok amerikai kétségeit fejezi ki, hogy az autópálya-építési politika végleges megoldást jelentene. Minden új autópálya, amelyet azért építettek, hogy a már meglévő forgalmi gondokat megoldja, új forgalmat hoz létre, amelyek újabb forgalmi torlódásokat eredményeznek.”²

Persze a járműforgalom nem mindig olyan, mint a víz. Sőt. A járműforgalom egy forgalomnagyság felett olyan, mint a jeges ár. A közutakon tapasztalható forgalmi torlódás népszerű neve a forgalmi dugó, szimbolizálva azt, hogy a járművek áramlási útjában – a „csőben” – valamiféle dugó van, ami elzárja az áramlás útját. Ekkor lelassul, megáll az áramlás, és a résztvevők, - akik rossz időben rossz helyen vannak - viselik a káros következményeket. De ma már az is előfordul, hogy a torlódásból fakadó károkat áthárítják annak okozójára.

Hogy mi mindentől alakulhat ki a forgalmi dugó, azt áttekinteni is nehéz. Olyan okokra szoktuk visszavezetni a dugó okát, mint az időjárás (eső, hó, árvíz), baleset, megkülönböztetett jármű haladása (katonaság vonulása), útakadály (útépítés, bontás), a szabadság időszak megkezdése, illetve befejezése, a karácsonyra való készülődés, időnként pedig egy új bevásárlóhely (mint új településszerkezeti elem) megjelenésére. Lehet a dugónak egészen extrém oka is. Belgiumban arra vezetnek vissza náluk a határon kialakuló forgalmi dugókat, hogy az ország legalizálta a papír nélkül ott dolgozókat. Itt a dugókat a vendégmunkások okozzák. Van olyan vélemény, hogy a forgalom lassítása – mint „beavatkozás” - is forgalmi dugóhoz vezet. „Az autók foglalják el a közlekedésre igénybe vett utak területének kilencvennyolc százalékát, ezért egyre hosszabbak a forgalmi dugók.”³ Vannak, akik a forgalmi dugókat a mélygarázsok következményének tartják.”⁴

Ritkán az is előfordul, hogy a forgalmi dugóknak inkább az előnyös oldalát nézik. „A legtöbb buszjárat Manhattanben nagyon egyszerű útvonalon közlekedik: vagy észak–déli, vagy kelet–nyugati irányban. A buszok a gyakori forgalmi dugók miatt közlekedésre nem igazán jók, városnézésre viszont tökéletesen megfelelnek.”⁵ De nem csupán New Yorkban ez a helyzet. A Balkánon is hasonlóak az állapotok.⁶

² Az idézet megtalálható: Motorizáció és gazdaság Budapesten. Lukács András tanulmánya, a CD PANORÁMA 1995/4 CD-ROM melléklete.

³ WWW.MSZP.HU: SZORÍT MÁR BUDAPEST GYŰRŰJE IS Terjeszkedés vagy ésszerű városfejlődés? 2001. október 22.

⁴ Levegő Munkacsoport, Magyar Közlekedési Klub, Védegylet, Belvárosi Lakossági Csoport

⁵ Piac és Profit, 2002. június 14., péntek

⁶ FOKASZ NIKOSZ: Balkán Élet és Irodalom, 1999-37 szám

„Felmérés szerint a német nők 28 százaléka kifejezetten jól érzi magát, ha dugóba kerül. Ők az ilyen helyzeteket általában flörtölésre használják fel, így sokkal könnyebben élik meg a mások számára stresszt okozó hosszú várakozást.”⁷

Valószínű azonban, hogy azok vannak többségben, akik nem szeretik a torlódást. Sőt. A frusztrációt előidéző szituációk (forgalmi dugók, forgalomelterelések, indokolatlan korlátozások stb.) következménye agresszió is lehet. Az agresszív megnyilvánulások jelenléte a közlekedésben, súlyosságuk és gyakoriságuk a közlekedési kultúra adott színvonalát jellemzik. A közlekedésben fellépő agresszió nem tüneti kezelést igényel, hanem az előidéző okok megismerését és megszüntetését – hangsúlyozzák a szakértők.

Hipotézisünk az, hogy a dugó a rendszer sajátosságaiból fakad, és melynek valamilyen konkrét okra következtében való megjelenése olyan, mint az utolsó csepp a pohárban. Valami miatt jelentős állapotváltozás következik be.

Nálunk a Fővárosi Közgyűlés 2001-ben fogadta el a BUDAPEST KÖZLEKEDÉSI RENDSZERÉNEK FEJLESZTÉSI TERVE c. dokumentumot. A terv cca. 1500 milliárd forintot irányoz elő a budapesti és a főváros körüli közlekedésfejlesztésére, azonban a jelentős fejlesztési célkitűzés ellenére a rendszerterv nem kifejezetten „problémafelvető” és megoldásra irányuló abban az értelemben, ahogy azt az európai közlekedéspolitikával, vagy a Szilikon Völgygel összefüggésben láthatjuk, ahol *expliciten megjelölik a mindenki számára egyre kevésbé elfogadható problémát, amit egyszerűen torlódásnak neveznek, és ami meghatározza a fejlesztések súlyponti feladatait.*

Felmerül a kérdés, hogy nálunk vajon miért ez a helyzet? Miért tapasztalható ez az „elzárkózás” a problémától, azaz a torlódástól? Vajon ezért-e, mert eleve lemondunk arról, hogy a város-, illetve a közlekedési fejlesztésekre fordított forrásaink felhasználása a torlódások csökkentése, megszüntetése szempontjából egyáltalán hatékony lehet? Nyilvánvaló, hogy a tapasztalatok nem igazán biztatóak, miközben a csúcsforgalom káros következményei Budapesten is évtizedek óta érzékelhetőek.

Megítélésünk szerint az elkövetkező időszakban a budapesti közlekedési állapotok is egyre kevésbé nélkülözik majd a városrendezési- és a közlekedéspolitika szorosabb kapcsolatát, összehangolását, ezeknek a tervekbe való átültetését. E nélkül ugyanis a „jeges ár” egyre nagyobb térségeket fog egyre hosszabb időszakokra uralni. Mindehhez persze az sem árt, ha egy kicsit mélyebben bepillantunk a közúti torlódás természetrajzába.

Az út a torlódáshoz is sorbanálláson át vezet

Torlódás keletkezik, ha a vizet, de különösen a jeget mozgásában valamely akadály fenntartja. (L. jégzajlás). Pallas nagy lexikona

„A torlódás olyan állapot, amely a legtöbb szállítványozó rendszerben előfordul. Például a folyóban úszó farönkök akadálytalanul sodródhatnak mindaddig, amíg az egyes darabok

⁷ vezess_hu.htm, 2001-08-23

mozgása nincs hatással a többiek előrehaladására. Ha a rönkök számát eddig a szintig növeljük, akkor ezzel együtt az átbocsátott mennyiség is növekszik, de ezzel elérkeztünk egy olyan ponthoz, amelynél a rönkök már akadályozzák egymás mozgását, és a teljes átbocsátott mennyiség lecsökkenhet. További rönkök bedobása esetén a rönksűrűség oly mértékben megnőhet, hogy már szilárdan egymáshoz ékelődnek, és így a csatornában az áramlási sebesség nullára esik vissza.

A közutak hálózatot alkotnak, amelyben szállítási csatornák, utak, keresztezések stb. találhatóak. A forgalom az úthálózaton át a nagyszámú forrás-rendeltetés pár között járműfolyamok formájában áramlik. E folyamatok minduntalan összefolynak, majd szétválnak a különböző keresztezési és elágazási pontokban. A célba érési arány (az időegység alatt célba érkező járművek száma) akkor maximális, ha az utakon közlekedő járművek száma nem halad meg egy bizonyos szintet. Olykor, pl. csúcsforgalomban, amikor az útra kelt járművek száma nagyon nagy, forgalmi dugók jönnek létre, és az egyes járművek előrehaladása sokkal lassúbbá válik. Sőt túlságosan is könnyű olyan feltételt teremteni, amelynek fennállása esetén aligha éri el a jármű rendeltetési helyét. És ez a járműfolyamok és az egyes járművek áramlása egymásra hatásának a következménye.

Bár a hálózat adatátviteli kapacitását általában a várható igényeknek megfelelőre tervezik, mégis a forgalom statisztikus változásai, még ha alacsony bekövetkezési valószínűséggel is, de túlterhelést idézhetnek elő. A jó hálózati forgalomvezérlési algoritmus a túlzott forgalmi igényeket visszautasítja. Mindaddig fenn kell tartania ezeket a korlátozó intézkedéseket, ameddig a normális, korlátozás-mentes üzem ismét vissza nem állítható.

Ha egyes hálózatrészek túltelítődnek, ezt a helyzetet nevezzük **torlódásnak** (congestion). A torlódás szélsőséges esete a **befulladás** (lock-up). Ez olyan, főként tervezési hibák miatt előálló eset, amelyben bizonyos információfolyamok egyszer s mindenkorra leállnak a hálózatban⁸.

A torlódás lehet helyi jellegű, amikor a jelenség a hálózatnak csak bizonyos részét érinti, vagy súlyosabb, mikor az egész hálózatra kihat. *A torlódás szélsőséges esetben olyan is lehet, hogy a forgalom egészen vagy csaknem egészen megbénul.* Nem lehet kérdéses, hogy ez olyan végzetes helyzet a hálózat számára, amelynek bekövetkezését bármi áron el kell kerülni.”⁹

A torlódás tehát olyan állapot, amely a legtöbb szállítmányozó rendszerben előfordulhat akkor, ha a forgalom meghalad egy kritikus értéket. A számítógép hálózatok nem működnének akkor, ha nem állna rendelkezésre a megfelelő szabályozó rendszer, forgalomvezérlési algoritmus. Hasonló a helyzet a villamoshálózatoknál, a villamosenergia-rendszerrel is. Ez utóbbinál még a lakosság életrendjét is „visszaigazítják” a természetes világitáshoz, ahhoz, amitől éppen a villamosenergia használat miatt távolodott el.

Szakértők szerint „fontos sorbanállási rendszer a szállítási rendszer. Ezek némelyikében az ügyfelek járművek, mint például az autók a vámnál vagy a közlekedési lámpánál (a kiszolgálókra) a várakozva, egy vasúti kocsit vagy egy hajót arra várva, hogy a kirakódó brigád (a kiszolgáló) hozzálasson, és repülőgépek a fel- vagy leszállásra várva a kifutópályán. (Szokatlan példa a parkoló, ahol a gépkocsik az ügyfelek, a kiszolgálók a parkolóhelyek, de

⁸ A jelenség jól illusztrálható a közúti körforgalomban lejátszódó hasonló események példájával. Ha az elsőbbségi szabály a körforgalomba belépő forgalmat részesíti előnyben, akkor torlódás léphet fel. A forgalom csak akkor indulhat meg újra, ha a szabályokat megváltoztatjuk. A csomagkapcsolt hálózatokban a helytelen puffert-elosztás és a rossz prioritási szabályok hasonló befulladásokat okozhatnak.

⁹ Kónya László: Számítógép-hálózatok. Gábor Dénes Főiskola, tankönyv.

nincs sor, mert a várakozó ügyfelek tovább mennek, ha a parkoló betelt.) Más esetekben viszont a járművek is kiszolgálók, mint például a taxik, tűzoltók, emelődaruk.

A sorbanállási rendszerek működésének jellemzőit alapvetően két statisztikai tulajdonság határozza meg: az érkezések közti idők valószínűségi eloszlása, és a kiszolgálási idők valószínűségi eloszlása. Egy valóságos sorbanállási rendszerben ezek az eloszlások szinte akármilyenek lehetnek, azonban egy sorbanállási modellben meg kell adni ezeket az eloszlásokat.”¹⁰

A sorbanállási elmélet a múlt század elején a telefonhálózatok kiépítésére való alkalmazással fejlődött ki (az elmélet megalapítója, Erlang, a Koppenhágai Dán Telefonszolgálat alkalmazottja volt). Mára már példák tucatjai igazolják, hogy a „sorbanállási rendszerek” valójában teljesen át- meg átszövik az életet, különösen a városi élet minden mozzanatát, amennyiben azt tekintjük, hogy hol és mennyi ideig kell várakozni a kiszolgálásra. Elég végiggondolni egy napunkat. Várakozhatunk reggel a fürdőszoba előtt, a lift előtt, a büfében, a főnök előtt, az ebéd előtt, az üzletben, esetleg a mozi kezdése előtt, és még sok egyéb helyen. Így a forgalomirányító jelzőlámpánál is. De sorbanállási rendszerek működnek a legkülönbözőbb kommunikációs rendszereknél (telefon, számítógép-hálózatok).

Napjainkban sok helyen vizsgálják a városi lakosság életvitelét a sorbanállás szempontjából, és néha igencsak meglepő eredmények születnek a sorban állásra fordított életidő vonatkozásában. Talán nem túlzás az a kijelentés, hogy *maga a város tervezése is egy gigantikus sorban állási rendszer tervezését (is) jelenti*. A várakozásra alkalmas helyek zöme ugyanis kapcsolódik a sorban álláshoz, legyen az gyalogosan végzett sorban állás, vagy gépjárműben ülve végzett sorbanállás (pontosabban „sorban-ülés”). Nyilvánvaló persze, hogy ebben a vonatkozásban a személyautó előnyben van a tömegközlekedési eszközökkel szemben, hiszen kényelmesebb egy légkondicionált autóban sorban ülni, mint a megállóban sorban állni és várni a tömegközlekedési eszköz érkezésére. Tehát várakozni a kiszolgálásra (még abban az esetben is, ha az utas nem áll a szó szoros értelmében sorba).

A problémát nem mérsékeli, hogy „a kiszolgálási idő hossza a rendszerek többségében véletlenszerűen változó paraméter. A megfigyelések, az elemzések azt bizonyítják, hogy a kiszolgálási idő változásának függvénye exponenciális görbe alakjában megjelenő exponenciális eloszlású valószínűségi változó. A várakozási jelenségeknél a kiszolgáló rendszert annak megfelelően kell kiépíteni és méretezni, hogy

- *milyen a szolgáltatást igénybe vevő egyedek rendszerbe áramlásának intenzitása (Poisson eloszlás)*
- *milyen gyorsan képes a rendszer az egyedek kiszolgálására (exponenciális eloszlás).”¹¹*

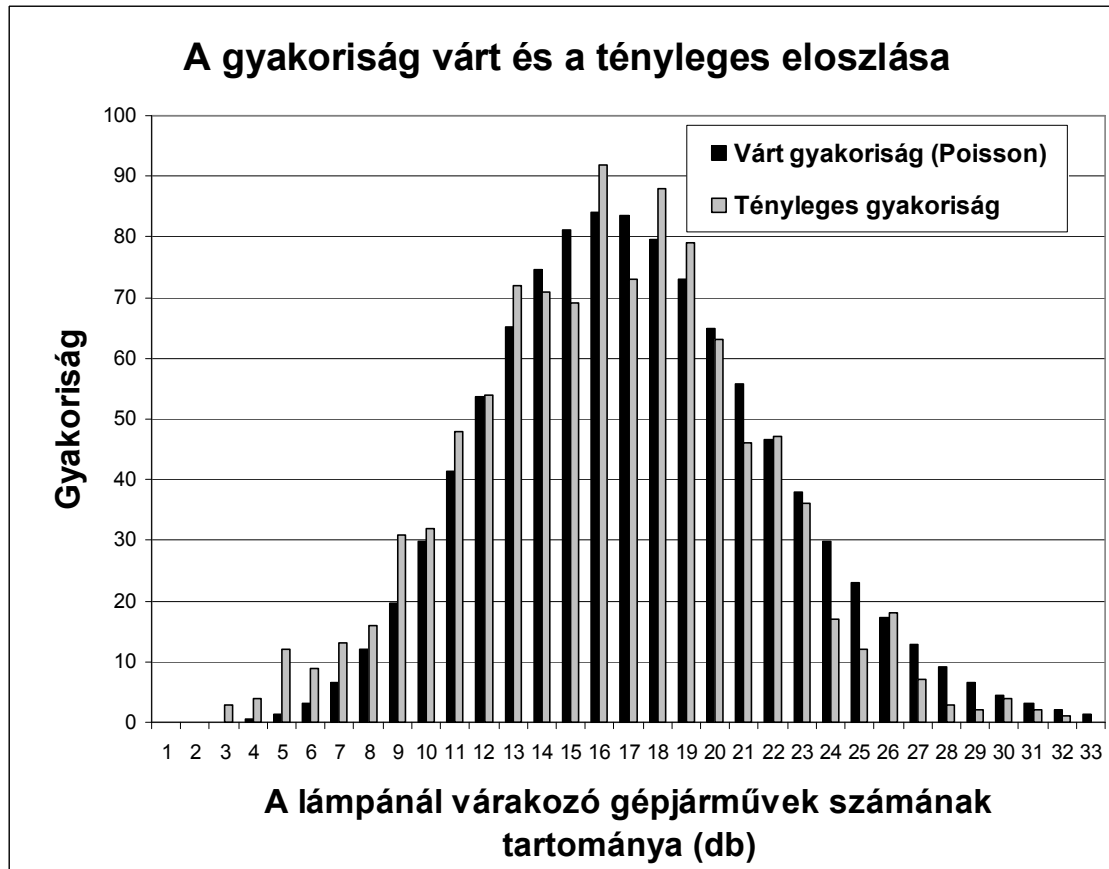
A beáramlási intenzitást, avagy az un. bemenő igényt az egységnyi idő alatt beérkező igények száma, a rendszer kiszolgálási gyorsaságát pedig az egységnyi idő alatt kiszolgált egyedek száma adja meg, mely függvények *sztochasztikus, véletlen eloszlású függvények*.

A sorbanállási rendszer-jelleg paramétereinek feltárása érdekében megvizsgáltuk, hogy miként is alakul Budapest egyik forgalmas útja, a Bajcsy-Zsilinszky út egyik jelzőlámpájánál álló gépjárművek száma a piros jelzésnél (a Toldi mozi előtt). Itt ugyanis a dugó miatt időnként nincs értelme beszélni forgalomról. A vizsgálatot az is motiválta, miszerint

¹⁰ Lásd részletesen: Hiller-Lieberman: Bevezetés az operációkutatásba. LSI Oktatóközpont, Budapest, 1994., 420-421. oldal.

¹¹ Operációkutatási módszerek, Novadat Kiadó, 2000., 238. o.

„zavartalan forgalom esetén a forgalom folyamatos, a járművek egymást nem befolyásolják (pl. kis kapacitás-kihasználtság esetén többsávos úton). A járművek érkezésének, illetve követési idejének eloszlása ilyenkor véletlen jellegű, Poisson-eloszlást mutat (1936 Adams kísérletei alapján).”¹²



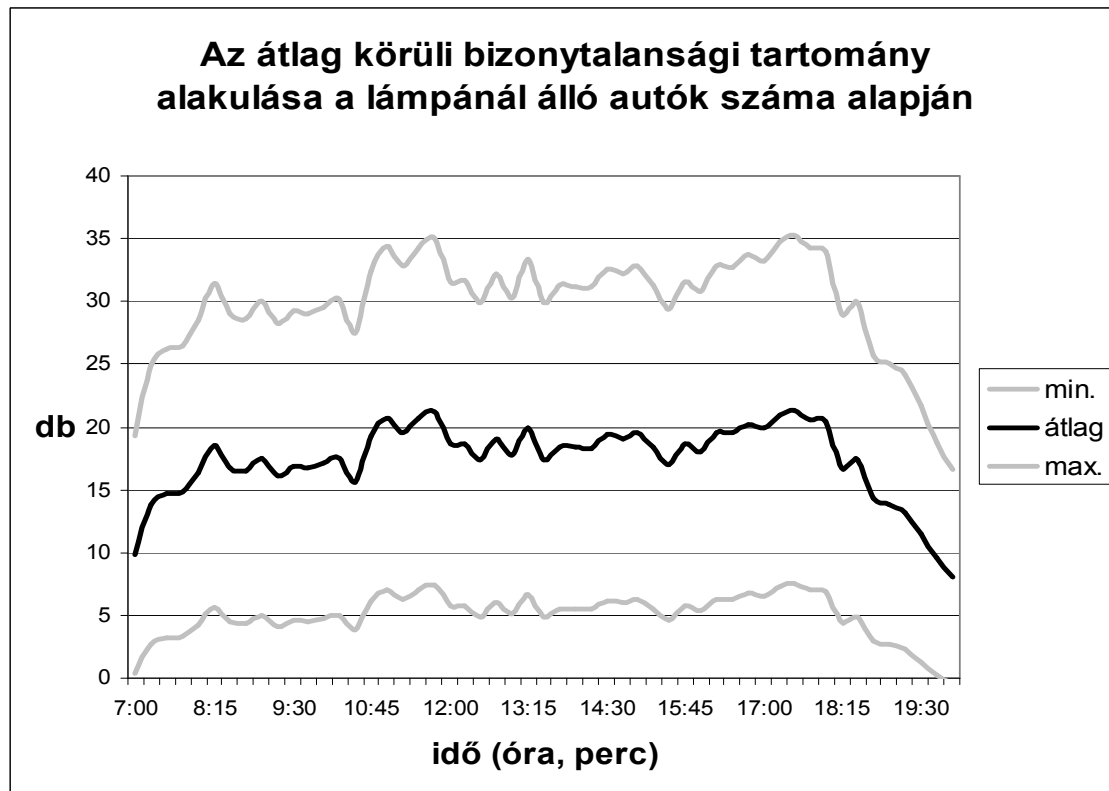
Az adatfelvétel során, 2001. őszen 4 egymás után következő hét munkanapjain reggel 7 és este 8 óra között negyedóránként megszámoltuk, hogy hány autó is áll lámpánknál (a Belváros felé vezető irányban) az éppen bekövetkező piros lámpa hatására 3 sávban és abban a pillanatban, amikor a lámpa éppen zöldre vált. (A számlálást tehát 20 napon keresztül folytattuk napi 53 alkalommal, azaz 1060 elemű mintát vettünk.)

Ha fenti ábránkon összehasonlítjuk a lámpánál várakozó, sorban álló gépjárművekre vonatkozó gyakoriságok tényleges eloszlását, melyhez összesítettük a megfigyelési időpontokban a 20 nap során a reggel 7 órától negyedóránként este 8-ig megszámolt gépjárművek számát, és az ehhez illesztett, a Poisson-eloszlást szerint várt eloszlást, akkor megállapíthatjuk, hogy a tényleges értékek elég jól közelítenek a várt értékekhez, azaz a sorban álló járművek számát lámpánknál a véletlen határozza meg.

Figyelmünkkel kitüntetett lámpánknál reggel 7 és este 8 között átlagosan 18 gépjármű várakozik arra, hogy a piros jelzés után a zöld jelzésre továbbhaladhasson. *A bizonytalansági tartomány pedig, amely célszerűen „három szórásnyi tartomány szokott lenni az átlag két oldalán”, 1 és 35 között van, mint az a következő ábrán látható.* Ennek megfelelően kell – ha lehet – a „kiszolgáló rendszer” kapacitásait méretezni. Ezen a tartományon kívül ugyanis a

¹² Ágoston György: Közúti közlekedési informatika. Hallgatói segédlet, Gábor Dénes Főiskola, <ftp://www.gdf-ri.hu/pub/gdf/targy/kozuti/kozuti.zip>

vizsgált jelenség már olyan csekély számban fordul elő, amit „rendkívüli állapotnak” is tekinthetünk.



Lényeges továbbá, ha a nap bármelyik időszakát is tekintjük, amely időszak lehet akár csak egy mérési időpont is, *a lámpánál a piros jelzés alkalmával sorban álló járművek száma addig Poisson-eloszlást követ, amíg a torlódás bekövetkezik.* A sorbanállási-rendszer abban is tetten érhető, hogy lámpánk ügyfelévé válik az itt áthaladó járművek több mint a fele, azaz több autó áll sorban lámpánknál, mint amennyi megállás nélkül áthalad. Az ilyen rendszert tehát annak megfelelően kell méretezni és kiépíteni, hogy mekkora a rendszerbe érkező egyedek beáramlásának intenzitása (Poisson-eloszlás) és milyen gyorsan képes a rendszer az egyedek „kiszolgálására”.

Mint arról olvashattunk, „Budapesten nyolcszáz villanyrendőr irányítja a forgalmat, becslések szerint még kétszázra volna szükség – hamarosan kilenc új csomópontban telepít közlekedési jelzőlámpát a főváros. A Városházán állítják: *igyekeznek úgy beállítani a lámpákat, hogy zöldhullám legyen, de ez a forgalmi dugók miatt alig vehető észre.* ... Budapest szakmailag jónak, európai színvonalúnak mondható a forgalom jelzőlámpákkal való irányítása. *A fennakadásokat a zsúfolt forgalom okozza, nem a zöldhullám hiánya* ... a belső városrészekben már nincs szükség további jelzőlámpás csomópontokra, de a külvárosokban igen, ahol sok helyen – például a Határ úton – alig lehet kijutni a mellékutcákból a főútvonalra. A zöldhullám az egyik legalkalmasabb módszer arra, hogy folyamatos legyen a forgalom a városban, és minél kevésbé szennyezzék a környezetet.”¹³

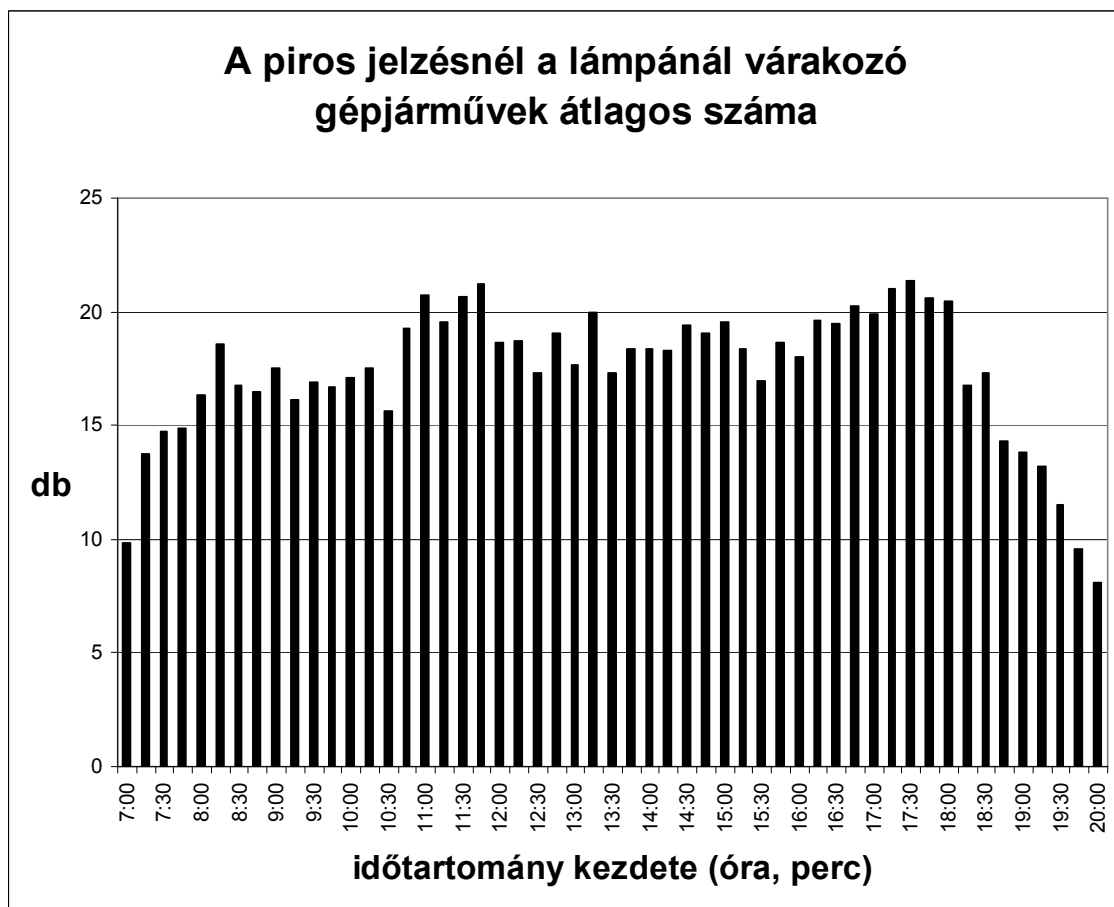
Úgy tűnik tehát, hogy *a túlzott forgalmi igény, az adott helyen, térségben időszakosan megjelenő sok gépjármű akadályozza meg a forgalom optimális rendjét, annak a jelzőlámpás*

¹³ Kétszáz új villanyrendőrrre volna szükség. NSZ 2001. augusztus 4. Szerző: Schmidt Gábor

irányítását a zöld hullám kialakulása érdekében.¹⁴ Ez az optimum azonban nem AZ az optimum.

A rendszer jellemzői

Mint azt a következő ábra mutatja, lámpánknál az ott sorban álló járművek számának az „átlag átlaga” körüli ingadozása a vizsgált időszakban – reggel 7 és este 8 között - cca. az átlag $\pm 40\%$ -a. Ez a tartomány azonban még mindig elmarad attól, amit lámpánknál az átlag körüli bizonytalansági tartományként célszerű értelmeznünk.



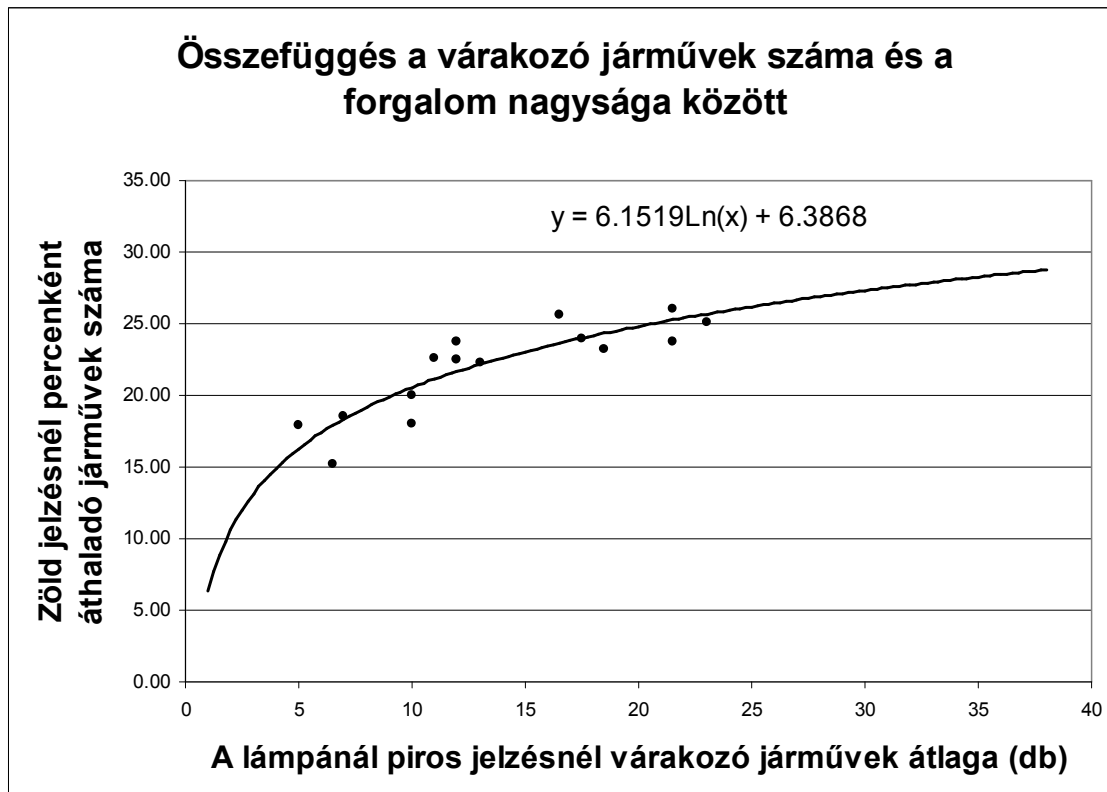
Adataink szerint pedig amikor meghaladja a lámpánknál sorban álló járművek száma a harminchármat, akkor már komolyan számolni kell a torlódás kialakulásával. *Ez az érték azonban a bizonytalansági tartományon belül helyezkedik el, így lámpánknál a torlódás veszélye az átlagba, pontosabban a „lámpába programozottan” van jelen.*

Már 1935-ben kimutatták, hogy a járművek sűrűségének (egy adott időpontban az egységnyi úthosszon lévő járművek száma) növekedésével a sebesség - egy negatív kitevőjű hatványnak megfelelően – csökken. Akkor a legnagyobb a sűrűség, amikor a járművek a dugóban állnak, és ilyenkor az adott útszakaszon áthaladó járművek száma tulajdonképpen éppen úgy 0,

¹⁴ Az is kifejezi Fleischer Tamás tanulmánya, annak szellemes címe: A közlekedést leginkább a forgalom akadályozza.
<http://www.epiteszforum.hu/varos/fleischer.pdf>

mintha egyetlen jármű se járna arra, hiszen a sebesség mind a két esetben zérus. A mérések azt mutatják, hogy ha valahol 80-100 jármű tartózkodik (halad) egy kilométer úthosszon (egy sáv esetén) akkor már dugóról lehet beszélni, mivel a sebesség nullához közeledik.¹⁵

Mivel kiderült, hogy ha lámpánk előtt a három sávban álló járművek száma meghaladja a 33-at, akkor a forgalom helyett előbb-utóbb a dugó is könnyen bekövetkezhet, ezért kézenfekvőnek tűnt az a hipotézis, hogy a lámpánknál sorban álló járművek száma, illetve a lámpánál a zöld jelzés alatt áthaladó járművek száma, azaz a forgalom nagysága (ami a sűrűség és a sebesség szorzata)¹⁶ szorosabb korrelációban áll egymással. Tehát azt feltételeztük, hogy ha több jármű áll a sorban, akkor nagyobb a forgalom (nagysága).



Habár viszonylag kevés a mérési adatunk, a fenti ábra alapján azért kiderül, hogy értelmezhető az összefüggés a sorban álló járművek száma és a forgalom nagysága között (ez utóbbit 3 sávraadtuk meg). Látható, hogy *a sorban álló járművek számának növekedése esetén nem lineárisan és egyre csökkenő ütemben, a trendvonal által illusztrált függvény szerint növekszik a forgalom*. Lényeges azonban, hogy ha sorba érkező járművek száma viszonylag alacsony, mondjuk 10 alatti, akkor a forgalom nagysága még elég gyorsan növekszik, hiszen ekkor nem kell megvárni, hogy a lámpánál álló járművek elinduljanak, felgyorsítsanak.

Ha viszont a sorban álló járművek száma nagy, akkor a járművek számának növekedésekor a forgalom nagysága már csekély mértékben növekszik, miközben a forgalom nagysága közeledik egy kritikus értékhez, melynél a járművek éppen még torlódásmentesen haladhatnak.

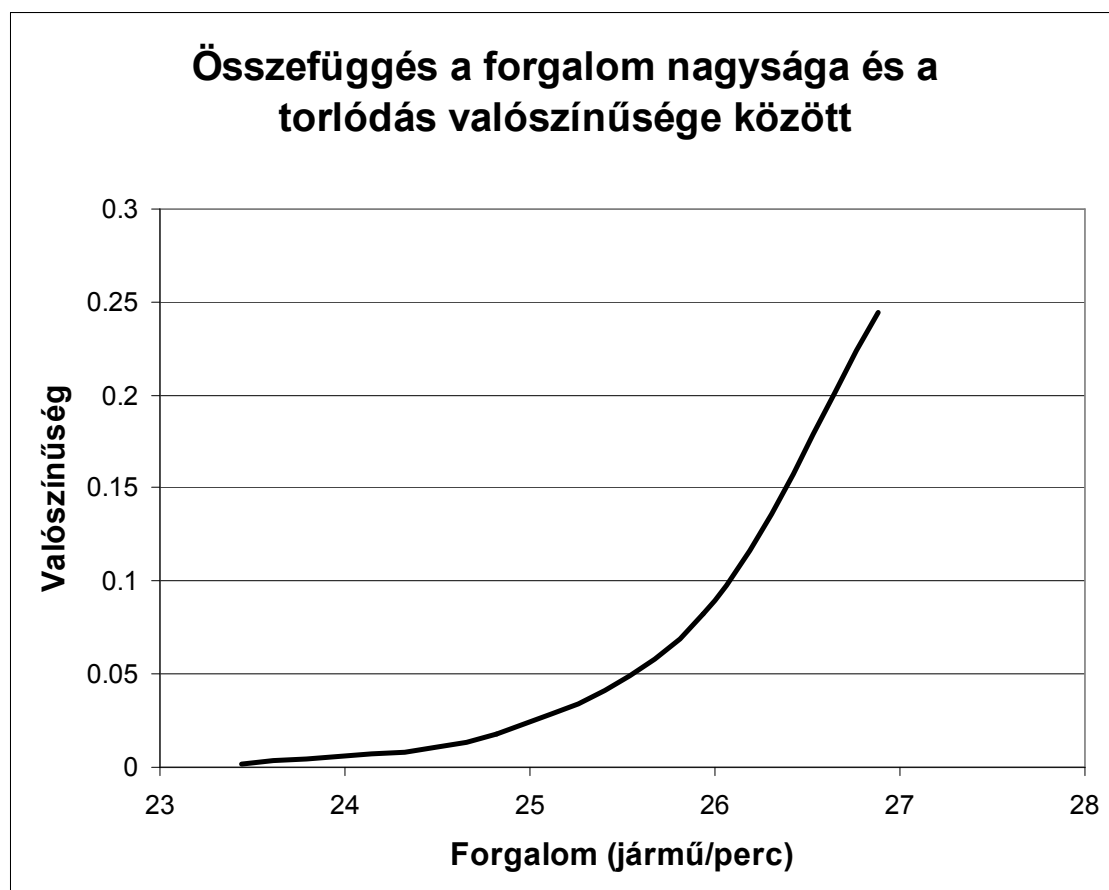
¹⁵ Forrás: Ágoston György: Közúti közlekedési informatika. Hallgatói segédlet, Gábor Dénes Főiskola, <ftp://www.gdf-ri.hu/pub/gdf/targy/kozuti/kozuti.zip>.

¹⁶ Részletesen: Ágoston György: Közúti közlekedési informatika. Hallgatói segédlet, GDF.

A fenti ábrán bemutatott összefüggés alapján tehát arra következtethetünk – mint ahogy azt a gyakorlatban mindenki tapasztalhatja -, hogy amikor alacsony a forgalom nagysága (a járműsűrűség és a sebesség szorzata), és amikor optimálisan működik a zöldhullám (például egy alacsony forgalmú vasárnap délelőtt), akkor alig néhány jármű kényszerül megállni lámpánknál.

Amint azonban elkezd növekedni a forgalom, egyre több és több járművet állít meg lámpánk. A görbe kezdeti, meredekebb szakaszán, azaz cca. addig, amíg a forgalom alatta marad a percenként 20 járműnek, elmarad a forgalmonnövekedés dinamikájától a sorban álló járműszám dinamikájának növekedése. E felett az érték felett azonban egyre erőteljesebben növekszik a forgalom növekedésével a sor hossza, egyre jobban szembetűnik, hogy a forgalmi rendszer helyett már az ún. sorbanállási rendszer jelleg kezd dominálni.

Miközben ugyanis a forgalom nagysága lámpánknál percenként átlagosan 20 járműről 24-re növekszik, azaz a növekmény 20%, a sorba érkező, ott álló járművek száma már megduplázódik és eléri a napi átlagot, a 16 álló járművet. Ekkor azonban még igen kicsi az esélye a torlódásnak. A sorban álló járművek számának növekedése azonban már jelzi a várható állapotváltozást. (A forgalom, ezen belül a járműsűrűség további növekedése, ami tehát a lámpánál sorban álló járművek számával is összefüggésbe hozható, már a sebesség csökkenésével jár együtt - mint azt már régen kimutatták.)



Előző ábránk azt illusztrálja, hogy ha a forgalom nagysága elér egy bizonyos értéket, esetünkben – „kitüntetett” lámpánknál – a 24-25 jármű/perc átlagos értéket, akkor kezd el látványosan növekedni a torlódás esélye. *Alig 10 % további forgalmonnövekedés esetén az 1%-*

os torlódási valószínűség 25%-ra növekszik, ami azt jelenti, hogy az adott forgalom nagyság mellett már komolyan kell számolni a torlódás veszélyével.

Megállapíthatjuk tehát, hogy lámpánknál az alábbi értékek jellemzőek a közlekedési viszonyokra:

- Amikor a forgalom nagysága 20 jármű/perc alatt van, akkor a forgalom zavartalan, a torlódás esélye elhanyagolható, és csak valamilyen rendkívüli esemény következtében számíthatunk rá. Ekkor az igények szempontjából optimálisak a közlekedési viszonyok.
- Amikor a forgalom növekszik, eléri a 24-25 jármű/perc értéket, egyre erőteljesebben nyilvánul meg a sorbanállási rendszer jelleg, mivel a forgalom nagyságának egyébként alig észrevehető (20-25%-os) növekedésére hirtelen megduplázódik a lámpánál sorban állók száma, de ekkor még viszonylag alacsony a torlódás valószínűsége (1 % alatti).
- A forgalom további 10%-os növekedésére a sorban álló járművek száma erőteljesen növekszik, és egyben beáll a torlódásveszélyes állapot.

Az előbbieknél megfelelően tehát célszerűbb, ha a közlekedési viszonyokat úgy kategorizáljuk, mint

- zavartalan forgalmi helyzet (amikor elhanyagolható a torlódás valószínűsége),
- forgalom sorbanállás mellett, csekély torlódási valószínűséggel,
- torlódásveszélyes állapot,
- illetve a torlódás.

Adataink alapján belátható, hogy ha egy adott helyen viszonylag csekély mértékben, tehát mondjuk csak 20%-kal növekszik a forgalom nagysága, ez a növekedés a zavartalan forgalmi helyzetet torlódássá alakíthatja át. Ez a nem lineáris jelleg a magyarázat arra, hogy viszonylag csekély környezeti változások (pl. a népesség területi szerkezetének átrendeződése) is előidézhetik egy adott térségben a permanens torlódás bekövetkezésének időszakát.

Megemlítjük még, hogy kitüntetett lámpánknál reggel 7 és este 8 között átlagosan 18 gépjármű várakozik arra, hogy a piros jelzés után a zöld jelzésre továbbhaladhasson. Figyelembe véve piros és zöld jelzések időtartamát és azt, hogy – durván becsülve – a járművek átlagos várakozási ideje a piros időtartam kétharmada, ez azt jelenti, mintha lámpánknál hétköznap reggel 7 és este 8 között átlagosan és folyamatosan 6 jármű állna járó motorral. Mindez persze nem elhanyagolható üzemanyagköltséget is jelent. Legalább ilyen lényeges, hogy a 6 járműben legalább 6 ember ül (számolhatunk persze 7-tel is). Munkaidőben a bérük költséget, munkaidőn kívül pedig az itt eltöltött idejük elvesztegetett szabadidőt jelent. A járművek, az üzemanyag és a munkabér költsége szervesen beépül a gazdaságba, mint „termelési költség”. Ha „kivetítjük” lámpánkat a városra, akkor már eléggé meglepő számot kapunk. Durva becslés szerint elérheti a városban lakó aktív keresőknek akár az egy százalékát is a forgalomirányító lámpák előtt sorbanálló lakosok száma.

A lámpánknál uralkodó állapotok ugyanis – meréseink szerint – a következő táblázatban bemutatott arányok szerint oszlanak meg.

Közlekedési állapot	Az állapot előfordulása a nap 24 órájának %-ában
Forgalmi állapot	41
Sorbanállási rendszer, melyen belül	59
torlódásveszélyes állapot	10
torlódás	1
Összesen	100

Megállapíthatjuk továbbá, hogy lámpánknál

- *az optimálishoz viszonyítva egy olyan alacsony (egyharmad) kapacitás-kihasználtságú rendszer működik,*
- *ahol reggel 7-től este 8-ig állandóan és átlagosan 6 jármű áll álló motorral, azaz a lámpa előtti szakasz a Bajcsy-Zsilinszky úton még mint egy levegőszennyező közúti parkoló is funkcionál.*
- *A rendszerre általában, és a torlódással összefüggésben különösen a sorbanállási-rendszer-jelleg a jellemző.*

Adataink szerint ugyanis miközben reggel 7 és este 8 óra között lámpánknál átlagosan 18.570 jármű halad át, ugyanezen idő alatt lámpánk ügyfelévé válik – átlagosan – 9.572 jármű. Ez tehát azt jelenti, hogy *lámpánk ügyfelévé válik az itt áthaladó járművek több mint a fele, azaz több autó áll sorban lámpánknál, mint amennyi megállás nélkül áthalad.* Jellemző, hogy az út teljes, azonban a torlódástól még nem veszélyeztetett kapacitását lámpánk a felére csökkenti, hiszen a napnak közel a felében, cca. az üzemidő 46%-ában megállítja a forgalmat.

Az életmódból és a sztochasztikus jellegből fakadó torlódások elkerülése érdekében a megmaradó kapacitásnak mintegy az egyharmada szükséges. Mindezek együttesen olyan alacsony kapacitás-kihasználtságot eredményeznek, ami elképzelhetetlen az olyan rendszereknél, ahol nagyon magas a tökeigény, és ahol függ a kapacitások-kihasználtságától a ráfordítások megtérülése, rendszer gazdasági hatékonysága. *A most ismerttetett arányok érthetővé teszik a szkepticizmust arra vonatkozóan, hogy a torlódásveszély csökkentése „megoldható” pusztán az úthálózati kapacitásbővítésekkel.*

A továbbiakban tehát akkor beszéljünk közlekedési (forgalmi) rendszerről, ha elhanyagolható a torlódás valószínűsége. Viszont ha valahol, valamikor nagy a torlódás valószínűsége, akkor célszerűbb ezt is a város egyik sorbanállási rendszereként kezelni. A sorbanállás figyelembe vétele kiemeli a rendszer – a város - sztochasztikus viselkedését, és megerősíti azt az igényt, hogy nem tekinthetünk el a sorban állók szokásaitól, életmódjától, sőt ennek időbeni alakulásától sem.

Küzdelemek a torlódás ellen

Az eddigiek alapján tulajdonképpen már kiderül – elvileg mindenképpen -, hogy mit célszerű tenni a közúti forgalmi torlódás elkerülése érdekében. *Figyelembe véve a jelenség sajátosságait, az adott helyen, térségben időszakosan megjelenő forgalmi igények egy előre meghatározott volumenét vissza kell utasítani azért, hogy a torlódás bekövetkezésének valószínűségét elfogadható szinten tartsuk. Ehhez természetesen ismernünk kell a jelenségre jellemző törvényszerűségeket, illetve a konkrét helyzetet leíró paramétereket. Ezek nélkül ugyanis a probléma megoldására való törekvés helyett inkább a ráolvasást gyakoroljuk.*

A legjobb persze az, ha a rendszer-, ezen belül a városszerkezet olyan, hogy csak nagyon kivételesen kerül sor a forgalmi igény visszautasítására. Mindezt persze könnyebb definiálni, mint megvalósítani. A helyzetet még az is bonyolítja, hogy különböző célfüggvények, korlátozó feltételek és visszautasítási szabályok lehetnek.

Már említettük, hogy nálunk egy bizonyos „elzárkózás” tapasztalható a probléma nyílt meghatározásától, pedig itt is azok vannak többségben, akik nem szeretik a torlódást a közutakon (sem).

Máshol pedig a torlódások, a forgalmi dugók megelőzése, illetve a káros hatások elkerülése céljából sok különböző intézkedést javasolnak, illetve vezetnek be. Mondjuk ilyen állítólag a távmunka. „Dublin közlekedési problémái, az állandósuló forgalmi dugók egyre többeket gondolkodtatnak el azon, hogyan kerülhetnék el a fárasztó napi ingázást, miközben az egyes szakterületeken mutatkozó szakemberhiány a munkaadókat ösztönzi a rugalmas távmunka bevezetésére.”¹⁷ Ez szorosan kapcsolódik az *integrált megoldáshoz, ami az életmódon keresztül is közelít a probléma kezeléséhez.*

Informatikai eszközként Nagy-Britanniában és Svédországban a mobiltelefonokat hívják segítségül a forgalmi dugók elkerüléséhez, amihez persze megfelelő kapacitású alternatív útvonalakra is szükség van. Az autókkal araszoló mobilok által kibocsátott jelekkel teljes közlekedési térképet rajzolhatnak fel a szolgáltatók. A BBC egyik híradása szerint a *közlekedéfigyelő rendszer* azon alapszik, hogy a mobiltelefonok bekapcsoláskor kapcsolatba lépnek a legközelebbi telefonközponttal, és ezáltal pontosan meghatározható, hogy hol tartózkodik a telefon tulajdonosa. *Ez a módszer nem kifejezetten a megelőzés eszköze, bár az lehet.*

Említettük, hogy a forgalmi dugók nagyon sok embert frusztrálnak. Ezért a politikusok is igyekeznek felvenni a küzdelmet a dugókkal. Gore fontos programpontja volt a legutóbbi amerikai választási kampányban a forgalmi dugók enyhítése. Egy budapesti politikus nyilatkozatában pedig ezt olvashattuk: „A forgalmi dugók enyhítését az egyik fontos feladatunknak tartom, ezért egy új forgalmi sávval szélesítettük a Nagykovácsi út és a Vadaskerti út közötti szakaszt. Ennek a hatmilliós beruházásnak az előnyét leginkább a Solymár, Pesthidegkút és Nagykovácsi felől érkezők érezhetik.” Itt tehát a dugó elleni küzdelem indokolja a *kapacitás-bővítést*. Persze nem kizárt, hogy majd itt is úgy járnak, mint ahogy az a Szilikon Völgyben történt.

A japánok már egy kicsit óvatosabbak. A modern technológiára is alapoznak, ami Japán erőssége. Az itteni Távközlési Technológiai Tanács előrejelzése szerint az un. ITS-autópályák révén a közlekedési balesetek száma egyharmadára fog csökkenni, és a rendszer 2015-re évente mintegy 12 milliárd dollár megtakarítást tesz lehetővé a forgalmi dugók elkerülhetősége révén. Terveik szerint a szén-dioxid-kibocsátás 2010-re 1,1 millió tonnával csökken, a tovagyrűző hatásokkal elérhető kereskedelmi forgalom pedig mintegy ezermilliárd dollárral nő, és több mint egymillió új munkahely keletkezésére számítanak 2000 és 2015 között.¹⁸ Elképzelhető persze, hogy mindez így történik. De ha a tervek csak a fele megvalósul, akkor is sikerre számíthatnak.

A forgalmi dugók elkerülésének lehetőségét sokan nálunk is a *megfelelő számítástechnikai és informatikai eszközök alkalmazásában látják.* A BMGE egyik tanszékén folyó kutatási téma ismertetője szerint: „Rohanó világunkban pótolhatatlan segítséget nyújthat egy olyan rendszer, mely a legfrissebb forgalmi információkkal látja el az autóst. Ily módon elkerülhetőek a forgalmi dugók, a költségek és a szükséges idő tekintetében is gazdaságosabbá válik az utazás. A tanszéken jelenleg egy olyan fejlesztés folyik, mely Magyarország közúthálózatáról nyert forgalmi adatokat igyekszik az Interneten és mobil

¹⁷ A távmunka helyzete Európában 1998. tvmunka.hu

¹⁸ Hernádi András: Japán technika az ezredfordulón, Kutatási irányok és eredmények – kézirat az Interneten.

eszközökön keresztül a széles felhasználói közönség elé tární. A hallgatók ebbe a kutató-fejlesztő munkába kapcsolódnának be, a konzulensek irányítása mellett.”¹⁹ Az ötlet minden bizonnyal sokkal kecsgetet, mivel New Yorkban is működik hasonló rendszer, a forgalmi helyzetről *online tájékoztató* honlap, a város sok helyén elhelyezett webkamerával.

A (köz)gazdasági megoldás hívei a forgalmi dugók ellen megfelelő díjszabással kívánnak védekezni. A hírek szerint Németországban 2003-tól autópálya-díjat fizetnek a teherautósok. Így döntött a német kormány. A 12 tonnás és annál nehezebb járművek vezetői a megtett kilométeren kívül egyéb paraméterek, pl. a szennyezőanyag kibocsátás alapján fizetnek kilométerenként 27-37 pfenniget. A bevételből a tervek szerint a forgalmi dugók elleni programot finanszírozzák majd.

Hasonlóképpen vélekednek Londonban is. 2003. február 17-től a London központjába behajtó gépjárművezetőket mintegy 2000 forintnak megfelelő díj fizetésére kötelezik. A polgármester szerint mindez a krónikus belvárosi torlódások felszámolására irányul. Számítások szerint legalább 130 millió font bevétel származik majd a díjból évente, amit teljes mértékben London közlekedésének javítására kell fordítani a rendszer bevezetésétől számított 10 évig. Ez a 130 millió font azonban nem tartalmazza azt az évi 30 millió font bevételt, ami a kiszabott büntetésekből várható. A londoni közlekedésért felelős önkormányzati szervezet, a "Transport for London" előrejelzése szerint a díj hatására a város szívében 10-15%-kal csökken a forgalom és 20-30%-kal a késések száma.²⁰ Az persze még nem tudható, hogy a csökkenő forgalom szignifikáns „dugócsökkenést” okoz-e?

Van olyan vélemény, amely szerint a forgalom lassítása, az út áteresztő kapacitásának csökkentése eredményezi a dugót. *Ezzel szemben egy ismert londoni vizsgálat szerint éppen ellenkező a helyzet.* London Közlekedési Ügyosztálya által készített tanulmány (címe: *Hogyan hat az utak kapacitásának csökkentése a forgalomra?*) szerint az utak átbocsátóképességének csökkentésekor a forgalom alkalmazkodik, nem következik be a forgalmi káosz. Hogy mit tekintünk káosznak, esetleg hogyan definiáljuk és mérjük a forgalmi állapotot, annak megint meglehetősen sokféle módja lehet.

Az említett munka keretében szimulációs modellezést²¹ is végeztek. Azt persze nem javasolták, hogy az utakat zárják be annak érdekében, hogy ezzel a káosz biztosan elkerülhető legyen. A munka eredménye inkább azért figyelemre méltó, mivel kiderült, hogy *a forgalomban részt vevők alkalmazkodóképessége eredményeként az utak kapacitásának csökkentése miatt kialakuló forgalmi dugók nem olyan mértékűek, mint azt eddig gondolták.* Továbbá *„ez egy összetett kérdéskör, ahol sok különböző hatást kell egyidejűleg vizsgálni.”*²²

A különböző hatások vizsgálatának keretében talán a torlódást kiváltó leglényegesebb okok, a *forgalmi igények változása, a forgalomban részt vevők magatartásának, a közlekedési szokásoknak, tágabb értelemben pedig az életmód változásának elemzése, az erre épülő szabályozások bevezetése is hozzájárulhat a torlódások elkerüléséhez.* Nyilvánvaló ugyanis, hogy egészében véve az életmódnak a társadalom egészére kiható változása vezetett sok helyen és igen hosszú napszakok alatt a szinte állandósult torlódások kialakulásához, annak ellenére, hogy ahol csak lehetséges, folyamatosan bővítik az úthálózati kapacitást. Egyértelmű

¹⁹ Online közúti forgalmi információs rendszer fejlesztése. BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék, 2001.

²⁰ Forrás: <http://www.london.gov.uk/news/2002/100-2602.htm>, illetve a Lélegzet, XI. évfolyam, 6. szám 2002. június

²¹ A szimulációs modellezés népszerűségét mutatja, hogy népszerű-tudományos TV filmet is bemutattak a témával kapcsolatban, ahol találkozhattunk „a forgalmi dugók szakértőjével, aki előszeretettel idéz elő közlekedési káoszokat, hogy azután módszereket dolgozzon ki megoldásukra.” Láthattuk azt is, hány tudós dolgozik azon világszerte, hogy számítógépes szimuláció segítségével csökkentsék a közlekedési dugókat és visszaállítsák a harmóniát az utakon. National Geographic Channels, 2002. 03. 06.

²² Forrás: <http://www.mva-group.com/interest/pr1998/ihcr.htm>, illetve Lélegzet.

ugyanakkor, hogy a városon belüli úthálózat kapacitásának bővítése nem lehet egyenesen arányos a gépjárművek számának növekedésével, ellenkező esetben viszont fellép a nem linearitás elkerülhetetlen következménye.

Az alapkérdés végül is az, hogy miként is alakulnak összességükben a városi torlódásveszély valószínűségi zónái. Hogyan is néznek ki akkor, ha folytatódnak a jelenlegi tendenciák, nem lépnek be új stratégiák²³, olyanok, amelyek már kifejezetten a torlódások számának és kiterjedésének mérsékelését tűzik ki célul. Abban a gigantikus sorbanállási rendszerben, amit maga a város jelent, a közúti sorbanállás jelenségének elemzése is csak egy lehetséges eszköz a torlódások megelőzése érdekében.

Az intézkedéseket, szabályozásokat, a kapacitásokat befolyásoló beruházásokat is az előbbinek megfelelően célszerű értékelni, azaz attól (is) függően, hogy azok mennyiben járulnak hozzá valahol (egy meghatározott útvonalon, térségben, esetleg a város egészében) a torlódási valószínűség módosításához, ami lehet növekvő és csökkenő.

A sorbanállás jelenségének figyelembe vétele tehát kiemeli a rendszer sztochasztikus viselkedését, megerősíti azt az igényt, hogy nem tekinthetünk el a sorban állók szokásaitól, életmódjától, ennek időbeni alakulásától akkor, ha számításokkal is megalapozva mérsékelni kívánjuk a város forgalmas útvonalain a torlódások kialakulásának veszélyét.

Az átlag csapdájában

Az eddigiek alapján belátható, hogy a közúti forgalmi torlódások kialakulása szempontjából meglehetősen csekély információt tartalmaz, ha valahol csak az átlagos forgalom nagyságát adjuk meg, legyen szó akár csúcsórai, akár „csúcspercnyi” időszakról. A forgalom nagyságát a véletlen határozza meg. A forgalom nagysága valószínűségi változó, mint ahogyan valószínűségi változó valamilyen áru szabadpiaci ára, az azonos típusú épületek építési költsége, egy üzletben az egységnyi idő alatt megjelenő vevők, az egységnyi idő alatt meghibásodó részegységek, avagy a klasszikus valószínűségszámítási tankönyvek szerint²⁴ a valamely úton meghatározott idő alatt áthaladó gépkocsik száma.

A valószínűségi változó legjobban a valószínűség eloszlással (eloszlásfüggvény) jellemezhető. A forgalom nagysága Poisson eloszlást követ. A Poisson eloszlás az ún. „pontelhelyezkedési” problémák legjellemzőbb eloszlása. Egy adott hosszúságú szakaszon elhelyezkedő „pontokra” gondoljunk, mely szakasz lehet valamely útvonal egy szakasza is, a pontok pedig az úton haladó gépjárműveknek felelnek meg.

A valószínűségi változó eloszlásának ismerete teljesen elegendő a valószínűségi változó ingadozásának jellemzésére. A gyakorlatban persze sokszor szükség van arra, hogy a valószínűségi változót egy-egy „jó számadattal” jellemezzük. Ilyen a várható érték (átlag), amely körül a valószínűségi változó ingadozik. A másik jellemző számadat a szórás. Ha a szórás kicsi, akkor a valószínűségi változó eltérései a várható értéktől kicsinyek, és fordítva.

²³ The Fundamental Gap in Urban Transportation. Jarold A. Kieffer, Transportation Policy Analyst and Founding Member of ATRA kiefpubl@aol.com

²⁴ Dr. Denkinger Géza: Valószínűségszámítás. Marx Károly Közgazdaságtudományi Egyetem, kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.

Valószínűségi változó esetében tehát nem elegendő megadni az átlagot, mint ahogy az legtöbbször előfordul, hanem meg kell adni az eloszlást, valamint a szórást is (ha ez nem származik az eloszlásból). Ezért ha valamilyen jelenség valószínűségi változó, célszerű megindokolni, hogy a jelenséget miért nem ennek megfelelően kezeljük, azaz miért nem adjuk meg, miért nem használjuk a valószínűség eloszlást, illetve a várható értéket (átlag) és ezzel együtt a szórást. Mivel a forgalom nagysága csúcsidőben is valószínűségi változó, ezért az egységnyi időszakban (például 1 perc alatt) ilyenkor jelentkező forgalom nagysága is legalább ezzel a két paraméterrel adható meg.

*A torlódás kialakulása szempontjából döntő az adott útszakaszon a forgalom nagyságának az az értéke, amelynél (szinte) biztosan kialakul a torlódás. Emlékeztetünk arra, hogy ha valahol 80-100 jármű tartózkodik (halad) egy kilométer úthosszon (egy sáv esetén) akkor már dugóról lehet beszélni, mivel a sebesség nullához közeledik. Ezt a forgalmat nevezhetjük *kritikus (torlódási) forgalomnak* is. Mintavételi helyünkön pedig azt tapasztaltuk, hogy ha már 33-34 gépkocsi áll a piros jelzést adó lámpánál, akkor szinte biztos a torlódás.*

Csak akkor lehet érdemben megítélni, hogy mit jelent az, ha valahol 25 jármű/perc az átlagos csúcsidei forgalom, ha tudjuk azt is, hogy az adott helyen mekkora forgalom esetén számíthatunk biztosan a torlódásra. Mintánk esetében a kritikus forgalom 33-34 jármű/perc volt. *A torlódás valószínűségének meghatározásához, a torlódásra vonatkozó prognózis elkészítéséhez tehát mindenképpen szükség van*

- 1. a forgalom nagysága, mint valószínűségi változó eloszlására, de legalább a csúcsidei átlagra és ezzel együtt arra az ismeretre, hogy a forgalom nagysága milyen eloszlást követ,*
- 2. valamint az adott helyen tapasztalható kritikus forgalomra.*

Az olyan megállapítások pedig, miszerint „a Budai alsórakpart szélesítésének elmaradása esetén 2010-re a Lánchíd u. napi forgalmának 25-30%-os növekedése várható, ami a csúcsidőszak alatt jellemző torlódások tartóságában mutatkozna meg”²⁵, célszerűen kiegészítendő *a csúcsidei forgalom jelenlegi és prognosztizált eloszlásának, valamint a kritikus forgalom jelenlegi és prognosztizált értékének, az ezek alapján kiszámítható torlódási valószínűség (esetleges időbeli alakulásának) megadásával.* A torlódások persze ettől még nem fognak önmaguktól sem az előfordulást, sem a területi kiterjedést illetően mérséklődni.

Az alapkérdés megint csak az, hogy miként is alakulnak összességükben a városi torlódásveszély valószínűségi zónái. Hogyan is néznek ki akkor, ha folytatódnak a jelenlegi tendenciák és nem lépnek be új stratégiák, illetve mire számíthatnánk olyan új stratégiai komponensek eredményeként, amelyek kifejezetten a torlódások kialakulása ellen irányulnának.

²⁵ FŐMTERV: BUDAI VÁRKERTBAZÁR KÖZLEKEDÉSI HATÁSVIZSGÁLAT. Bp. 2003. szeptember hó