

Budapesti sebességkorlátozások változtatásának hatásvizsgálata forgalom-szimulációval

A közúti közlekedési torlódások mára gyakorlatilag mindennaposá váltak a nagyvárosok útjain a világ minden táján. A jelenség magyarázata egyértelmű: a közlekedési hálózatok kapacitása csúcsidőben telítődik, így a fokozódó igények nem szolgálhatók ki megfelelően még akkor sem, ha pl. forgalomfüggő jelzőlámpás irányítás működik. A helyzet javításán többféle módszerrel kísérleteznek, többféle módszerrel kísérleteznek, pl. sebességkorlátozás alkalmazásával. A cikk ezen intézkedési lehetőség hatásvizsgálatával foglalkozik.

DOI 10.24228/KTSZ.2020.5.2

Dr. Tettamanti Tamás – Varga Balázs – Dr. Varga István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék
e-mail: tettamanti@mail.bme.hu, varga.balazs@mail.bme.hu, ivarga@mail.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A városi közúti forgalom és az externáliák csökkentésére számos intézkedés áll rendelkezésre: parkolásszabályozás, behajtási korlátozás, közösségi közlekedés előnyben részesítése, forgalomtechnikai beavatkozások, sebesség-szabályozás. A cikk ez utóbbi vizsgálatával foglalkozik.

Az elmúlt évtizedekben a világ több nagyvárosában vezettek be speciális intézkedéseket, amelyek célja a megengedett maximális sebesség csökkentése a városok közúthálózatán (vagy a részhálózatokon). Az intézkedéseket a közlekedésbiztonság növelése, a környezettudatosság és a módváltások ösztönzése motiválta [1], [2], [3], [4]. Ezen intézkedések általában a fő- és gyűjtőút-hálózati szerepkört betöltő

útvonalak esetében az alábbi sebességkorlátozások bevezetését jelentette:

- 50 km/h-ról 30 km/h-ra történő csökkentés belvárosi/lakóövezeti területeken;
- 80 vagy 70 km/h-ról 60 vagy 50 km/h-ra történő mérséklés városi főutakon (pl. autópálya bevezető szakaszok).

A megengedett sebességhatár módosításától a döntéshozók általában az externáliák csökkenését és közlekedésbiztonság növelését várják, ugyanakkor fontos a lehetséges intézkedések kimenetelét komplex szemléletben – közlekedésmérnöki eszközökkel - is megvizsgálni. Azaz a várható baleseti statisztika változása mellett objektív módon kell megvizsgálni a sebességcsökkentés légszennyezésre, zajterhelésre, eljutási időre (átlagsebességre), forgalmi kapacitásra, ill. torlódásra vonatkozó hatásait is.

Mivel ezen paraméterek változása – egy adott forgalomtechnikai intézkedés után – jellemzően nem egy irányba történik, több kritériumot és társadalmi/gazdasági szempontokat is érdemes figyelembe venni egy esetleges sebességsökkentési intézkedés foganatosítása előtt.

A cikkünkben ennek megfelelően a városi sebességhatár csökkentésének hatásait értékeltük validált, mikroszkopikus forgalomszimulációs szoftver (PTV VISSIM) alkalmazásával. A vizsgálatokat két városi teszhálózatra végeztük el:

- Jellemző belvárosi úthálózat forgalomszimulációja (Nagykörút): 50-ről 30 km/h-ra történő csökkentés hatásvizsgálata.
- Jellemző városi gerincút forgalomszimulációja (Nagykörösi út): 70-ről 50 km/h-ra történő csökkentés hatásvizsgálata.

A szimulációs analízis során alapvetően arra kerestük a választ, hogy a megengedett legnagyobb sebesség csökkentése milyen hatással lehet a közúti forgalomtechnikai és emissziós paraméterekre. A vizsgálatokat különböző forgalomnagyságok mellett végeztük el, de az egyszerűség kedvéért a változó forgalommiatti módváltási hatásokat elhanyagoltuk. Ugyanakkor a módváltásra gyakorolt hatást érdemes a későbbiekben modellezni, hiszen annak is fontos össztársadalmi hatása van.

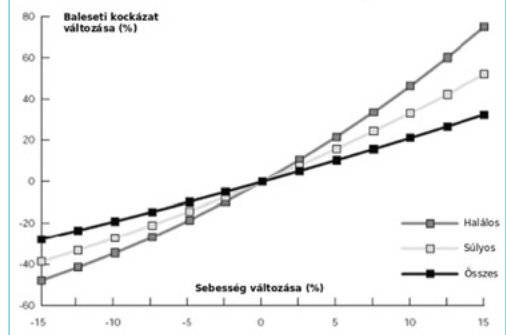
2. A SEBESSÉGHATÁR CSÖKKENTÉSÉNEK HATÁSAI, TAPASZTALATAI A NEMZETKÖZI TANULMÁNYOK TÜKRÉBEN

A nemzetközi szakirodalmat áttekintve egyes kép rajzolódik ki a városi sebességsökkentés hatásait illetően. A terület rendkívül széles spektruma és sokszor némileg egymásnak ellentmondó szakirodalma miatt, a releváns irodalomból az alábbiakban csak néhány jelentősebb szakcikk legfontosabb eredményeit emeljük ki egyfajta lényegi betekintésként a témába.

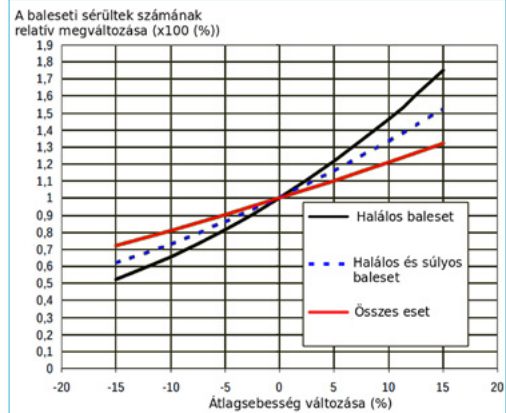
A sebességsökkentés és a balesetek közötti összefüggés egyértelmű a szakirodalmi tapasztalatok alapján. Nilsson [2] tanulmánya töb-

bek között a sebességsökkentés és a balesetek súlyossága közötti kapcsolatot vizsgálta svéd statisztikai adatok alapján. Az eredmények – más szakirodalommal összhangban arra mutatnak, hogy erős korreláció van a baleseti kockázat, ill. a baleseti súlyosság és a sebességkorlátozás értéke között (lásd 1. és 2. ábrák).

1. ábra: Az átlagsebesség változása és a baleseti kockázat közötti összefüggés (forrás: [2])



2. ábra: Az átlagsebesség változása és a balesetben megsérült személyek száma közötti összefüggés (forrás: [1])



Az előző összefüggést támasztja alá egy ideiglenes szakcikk is Brazíliából [6], ahol 2015-től São Paulo városában a városi autópálya-szakaszokon 90 km/h-ról 70 km/h-ra és a városi főúton pedig 60 km/h-ról 50 km/h-ra csökkentették a megengedett legnagyobb sebességet. Az eredmény magáért beszél: a sebességkor-

3. ábra: 3D-s Vissim pillanatkép (www.ptvgroup.com)



látozási program – másfél évet tekintve – 21,7% -kal csökkentette a balesetek számát, ami a gyakorlatban 1889 darab „elhárított” balesetet jelent a korábbi évek statisztikájához képest.

A [7] tanulmány az 50-ről 30 km/h-s korlátozásra való átállás tapasztalatait vette számba. A vizsgálatuk alapján a klasszikus városi 50 km/h-s korlátozás 30 km/h-ra való csökkentésével a NO_x és PM szennyező anyagok emissziója egyértelműen növekszik. Ugyanakkor a növekedés mértéke nagyban függ a hálózat topológiájától, a forgalom és járműpark összetételétől és jellegétől.

Az [1]-ben az osloei sebességsökkentés tapasztalatait ismertették. A cikk a helyi légszennyezésre és az átlagos utazási időre gyakorolt hatásokat mutatja be Osloban a 2004–2011 közötti időszakban, miután a városi főutakon a korábbi 80 km/h-ról 60 km/h-ra csökkentették a sebességkorlátozást. A vizsgálat legfontosabb eredménye, hogy a sebességkorlátozás csökkentése átlagosan 5,8 km/h-val redukálta az utazási sebességet. Az emisszió tekintetében pedig az eredmények nem igazolták egyértelműen, hogy a 60 km/h-s alacsonyabb

sebességkorlátozás kevesebb nitrogén-oxidot (NO₂ és NO_x) eredményezne (amely amúgy a motorok átlagos emissziós tulajdonságai alapján elvárható lenne). Hasonlóképpen a cikk szerint nincs bizonyíték arra sem, hogy a 60 km/h-s alacsonyabb sebesség kevesebb részecskeanyag kibocsátáshoz vezetne (PM2.5 és PM10).

A bemutatott irodalom vegyes eredményei azt jelzik, hogy a sebességsökkentés témájával mindenképpen érdemes részletes szimulációs vizsgálatokon keresztül foglalkozni.

3. A FORGALOMSZIMULÁCIÓS KÖRNYEZET ÉS A VIZSGÁLT KÖZÜTI HÁLÓZATOK

Az alábbiakban a szimulációs környezetet és a vizsgált teszthálózatokat mutatjuk be részletelesen.

3.1. Mikroszkopikus forgalomszimuláció

Mikroszkopikus forgalomszimulációról akkor beszélhetünk, ha a szimuláció minden egyes járművének (hosszirányú) dinamikája pontosan meghatározott. Ezen individuális dinami-

kak aggregálásával a közúti hálózat modellje felett a forgalom részletesen vizsgálható. A tanulmányban használt VISSIM mikroszkopikus forgalomszimulátor (www.ptvgroup.com) segítségével a közlekedési hálózat könnyedén modellezhető különböző beállítások (forgalomnagyság, útvonalválasztás, jelzőlámpa programok stb.) mellett.

Kutatásunk során két hálózatot vizsgáltunk meg. Az első a Nagykörút Blaha Lujza tértől a Nyugati pályaudvarig terjedő szakasza az Andrassy úttal kiegészülve (4. ábra). A hálózat ezen szakasza egy forgalmas városi főútvonalnak tekinthető sok jelzőlámpás kereszteződéssel, ahol a sebesség 50 km/h-ról 30 km/h-ra mérséklését vizsgáltuk. A másik útvonal a Nagykörösi út Határ út és Hoffner Albert utca közti 3 km-es szakasza (5. ábra). Itt a sebességhatár 70 km/h-ról 50 km/h-ra történő változtatását vizsgáltuk meg a városból kifelé tartó irányon.

3.2. HBEFA3 mikroszkopikus emisszió modell

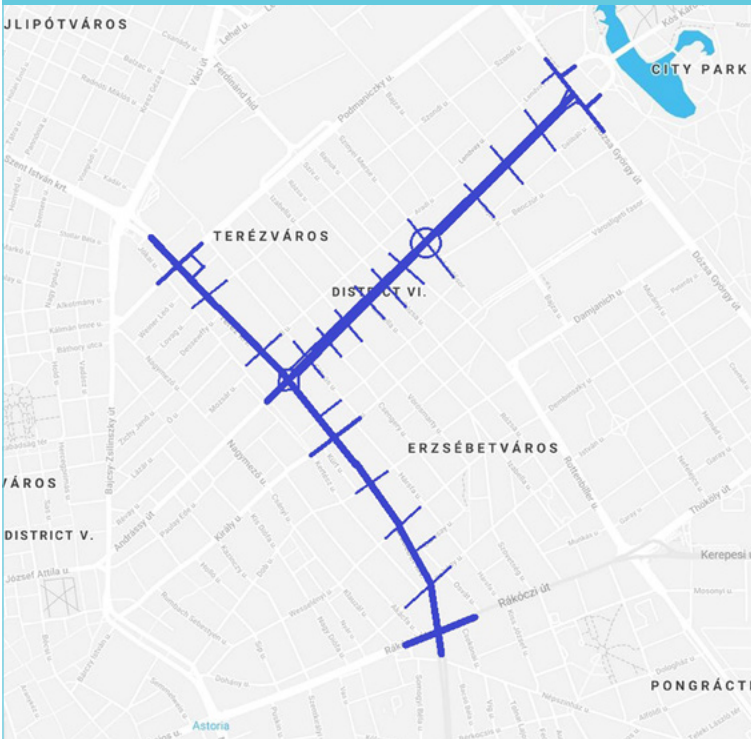
A károsanyag-kibocsátás a HBEFA3 mikroszkopikus emissziós modell [8] segítségével került kiszámításra. A modell az egyes járművek pillanatnyi sebességéből és gyorsulásából képzett polinomok segítségével számítja az egyes járművek pillanatnyi károsanyag-kibocsátását. A modell különböző járműtípusokat és emissziós kategóriákat különböztet meg. A polinomok az alábbi alakúak:

$$e = f_1 + f_2 \cdot a \cdot v + f_3 \cdot a \cdot a \cdot v + f_4 \cdot v + f_5 \cdot v \cdot v + f_6 \cdot v \cdot v \cdot v$$

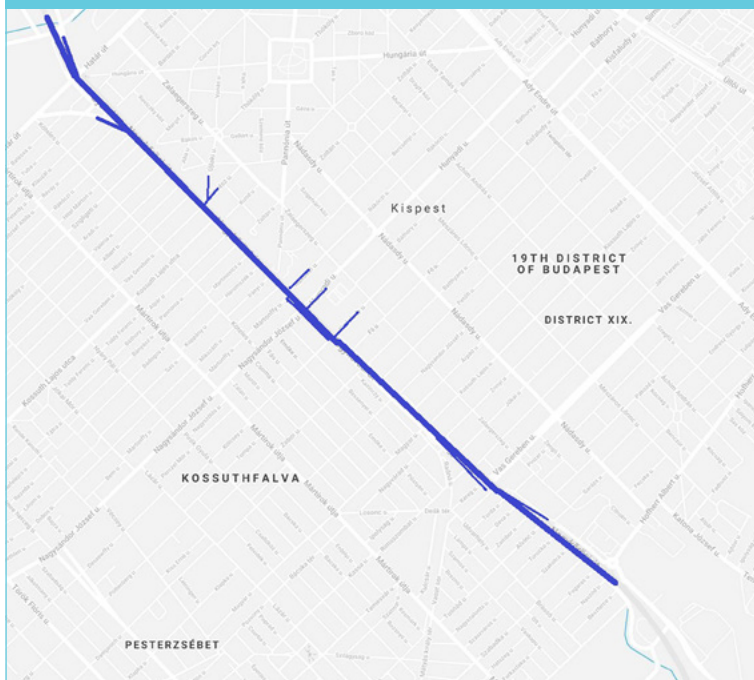
Ahol e az adott káros anyag, a a jármű gyorsulása és v a jármű sebessége, f_1, \dots, f_6 a modell paraméterei. A szimulációkban emisszió szempontjából a három legjellemzőbb járműtípust vettük figyelembe: személyautó (benzin, Euro 4), teherautó (dízel, Euro 3), autóbusz (dízel, Euro 5). A vizsgálatot két káros anyagra folytattuk le: CO_2 , NO_x .

A polinomok görbéi U alakot vesznek fel a sebesség függvényében. A görbék minimuma 30 km/h és 70 km/h között van, szennyezőtől függően 0 m/s² gyorsulás mellett. Nagy sebességnél a menetellenállás (légellenállás, gördülési ellenállás) leküzdése miatt jóval nagyobb teljesítményre van szükség. A nagyobb teljesítményigényből magasabb üzemanyag-fogyasztás és nagyobb emisszió következik. Alacsony sebesség esetén a járműmotorok hatásfokát is figyelembe véve a további sebességcsökkentés nagyobb pillanatnyi emisszióhoz vezet.

4. ábra: Vizsgált belvárosi hálózat (Budapest, Nagykörút és Andrassy út)

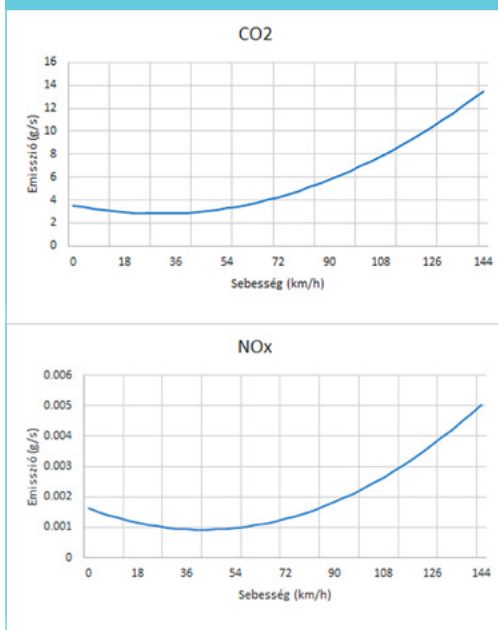


5. ábra: Vizsgált városi autópálya (Budapest, Nagykörösi út kivezető)



A szimulációk során két ellentétes hatásra számítottunk az emisszió kapcsán. A sebességcsökkentéssel az egyes járművek pillanatnyi emissziója csökkenhet abban az esetben, ha a sebességcsökkentés magas sebességről történik. A másik hatás indirekt módon következik a sebességből: alacsonyabb sebesség esetén a járművek hosszabb időt töltenek a hálózaton, így hosszabb ideig is szennyeznek. A két hatás eredőjét csak szimulációk segítségével állapíthatjuk meg. Személygépjárműre az emissziós görbéket az 6. ábra szemlélteti.

6. ábra: HBEFA3 emissziós görbék személygépjárműre



3.3. A nagykörúti teszthálózat

A nagykörúti teszthálózattal forgalmas városi útszakaszokat modelleztünk jelzőlámpás kereszteződésekkel és mellékutcákkal. A sebességhatár jelenleg itt egységesen 50 km/h. A forgalmi jellemzők változását a sebesség 30 km/h-ra csökkentésével vizsgáltuk három forgalmi intenzitás mellett. A három különböző forgalomnagyságra azért is volt szükség, mert a kutatásnak nem volt célja a sebességcsökkentés miatt bekövetkező esetleges (modális váltás miatti) forgalomcsökkenés mértékének vizsgálata. Ennek megfelelően a három forgalmi intenzitás makroszkopikus jellemzők alapján került megválasztásra: telítetlen, telített és túltelített hálózati állapotok szerint¹. Itt a telítetlen és a túltelített hálózat a telített forgalomnagysághoz képesti $\pm 30\%$ -os eltérést jelenti. A hálózatban

¹ **Telítetlen forgalom** (angol nyelvű szakirodalomban: undersaturated) esetén a forgalom a jelzőlámpánál mindig kiürül egy zöld jelzés alatt. A forgalom gyér, kevés interakció van a járművek között, minden jármű a saját maga által megválasztott sebességgel tud közlekedni. ➤

levő jelzőlámpák a jelenleg érvényben levő 90 másodperces ciklusidővel rendelkező jelzőlámpaprogram szerint működnek. Az ideiglenesen kialakított kerékpársávokat nem vettük figyelembe. A nagykörúti hálózaton a szimulációk során a forgalom járműtípusok szerinti eloszlását az 1. táblázat szemlélteti (Budapest Egységes Forgalmi Modell (EFM) alapján).

1. táblázat: Járműkategóriák eloszlása a nagykörúti hálózaton

Személyautó	80%
Teherautó, kisteherautó	15%
Busz	5%

A járművezetők elvárt sebessége a sebességkorlátozás függvényében egyenletes eloszlást feltételezve a 2. táblázat szerint alakul (az eloszlás mértékét a Vissim szimulátor alapbeállításai alapján határoztuk meg).

2. táblázat: A járművezetők elvárt sebessége a nagykörúti hálózaton

Sebességhatár (km/h)	Minimum (km/h)	Maximum (km/h)
30	28	45
50	45	60

Három különböző forgalomnagyságot feltételezve Az egyes irányokból az óránkénti forgalomnagyság a 3. táblázat alapján. A telített forgalom az EFM alapján került meghatározásra. A telítetlen és túltelített forgalom pedig +/-30%-os eltérést modellez a telítetthez képest.

Fontos megjegyezni, hogy ebben a modellben nem csak a Blaha Lujza tér és Nyugati tér viszonylaton mozognak a járművek, hanem rövidebb pl. mellékutcaiból kiinduló vagy azokba végződő célforgalom is modellezésre került.

Telített forgalomnál annyi jármű jelenik meg a csomópontban, mint amire a jelzőlámpa program tervezte van. A csomópont kiürülésének ideje pontosan egy zöld jelzésnyi idő. Ez az eset jelenti azt, amikor a csomópont kapacitásmaximumon üzemel.

Túltelített forgalom esetén adott ágban a csomópont nem tud kiürülni egy zöld jelzés alatt. Ilyenkor gyakorlatilag a járműveknek legalább két jelzőlámpaciklust várniuk kell a kihaladáshoz.

3. táblázat: Óránkénti forgalomnagyságok a nagykörúti hálózaton

Bemeneti útszakasz	Telítetlen (0,7*Telített, jármű/ óra)	Telített (jármű/ óra)	Túltelített (1,3*Telített, jármű/ óra)
Andrássy út	317	453	589
Hősök tere	179	255	332
Wesselényi utca	143	204	266
Király utca A	238	341	443
Erzsébet körút	358	511	665
Király utca B	238	341	443
Dob utca	143	204	266
Rákóczi út	465	665	865
Podmaniczky utca A	179	255	332
Szondi utca A	107	153	199
Aradi utca	107	153	199
Dohány utca	143	204	266
Vörösmarty utca	143	204	266
Izabella utca A	107	153	199
Dózsa György út A	358	511	665
Izabella utca B	143	204	266
Szinyei Merse Pál utca A	71	102	133
Bajza utca	107	153	199
Dózsa György út B	191	273	354
Teréz körút	358	511	665
Podmaniczky utca B	358	511	665
Szondi utca B	179	255	332
Dózsa György út C	23	34	44
Podmaniczky utca C	179	255	332
Szinyei Merse Pál utca B	71	102	133
Szondi utca C	179	255	332
Izabella utca C	107	153	199

A járművek a Wiedemann 74 járműkövetési modellt használják, amely a járművezetők városi forgalomban történő viselkedésének leírására alkalmas [9].

3.4. A Nagykőrösi úti teszhálózat

A Nagykőrösi úton jelenleg egységesen 70 km/h a sebességhatár. Ebben a szimulációban ennek 50 km/h-ra való csökkentését vizsgáljuk. Az útszakasz specialitása, hogy néhány fel- és lehajtón kívül egy egyenes, 2+1 sávós (buszsáv) útszakasz, tehát a topológia hatása itt kevésbé hangsúlyos. A járművek kategóriánkénti megoszlása a 4. táblázatban összefoglalva:

4. táblázat: Járműkategóriák eloszlása a Nagykőrösi úti hálózatban

Személyautó	75%
Teherautó, kisteherautó	20%
Busz	5%

A járművezetők elvárt sebessége a sebességkorlátozás függvényében egyenletes eloszlást feltételezve az 5. táblázat szerint alakul.

5. táblázat: A járművezetők elvárt sebessége a Nagykőrösi úti hálózatban

Sebességhatár (km/h)	Minimum (km/h)	Maximum (km/h)
50	45	60
70	60	90

Három különböző forgalomnagyságot feltételezve Az egyes irányokból az óránkénti forgalomnagyság a 6. táblázat alapján:

6. táblázat: Óránkénti forgalomnagyságok a Nagykőrösi úti hálózatban

	Telítetlen (0.7*Telített, jármű/ óra)	Telített (jármű/ óra)	Túlételt (1.2*Telített, jármű/ óra)
Nagykőrösi út	1470	2100	2500
Felhajtó A	245	350	400
Felhajtó B	49	70	70
Felhajtó C	49	70	70

4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Az alábbiakban a két vizsgált teszhálózaton kapott szimulációs eredményeket ismertetjük. A szimulációkat az alábbi metrikák szerint értékeltük:

- Utazási idő: egy jármű által a hálózatban töltött átlagos idő.
- Átlagsebesség: a hálózatban levő össze jármű időbeli átlagsebessége (1 órás átlag).
- Megállások száma: a szimuláció során az összes jármű megállásainak száma.
- Járműszám: szimuláció során a hálózatot elhagyó járművek száma, a hálózat átbochtóképessége.
- CO₂ kibocsátás: HBEFA3 modell alapján az összes jármű kumulált CO₂ kibocsátása 1 órás szimuláció alatt.
- NO_x kibocsátás: HBEFA3 modell alapján az összes jármű kumulált NO_x kibocsátása 1 órás szimuláció alatt.

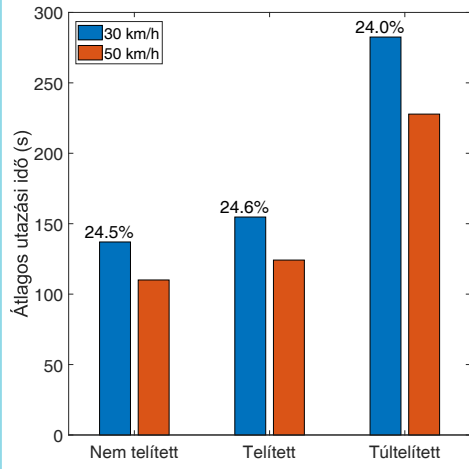
A fenti kvantitatív eredményekből következtetni lehet a balesetek számának és a zajterhelésnek a változására is. A szimulációk minden esetben 1 órát foglalnak magukba és állandósult állapotból (előre feltöltött hálózatból) indulnak.

4.1. Nagykörút

Utazási idő: Az eljutási idők a sebességkorlátozás hatására növekednek, lassul a forgalom a vizsgált útszakaszokon. A sebességhatár egységes 30 km/h-ra való csökkentése mellett 24%-kal (7. ábra). Az utazási idő növekedésének két összetevője van. I) Az 50 km/h-ra tervezett jelzőlámpaprogram mellett a járművek többször megállásra kényszerülnek alacsonyabb sebességhatár mellett. II) Két jelzőlámpa között még telítetlen útszakaszon is csak alacsonyabb sebességre gyorsíthatnak fel.

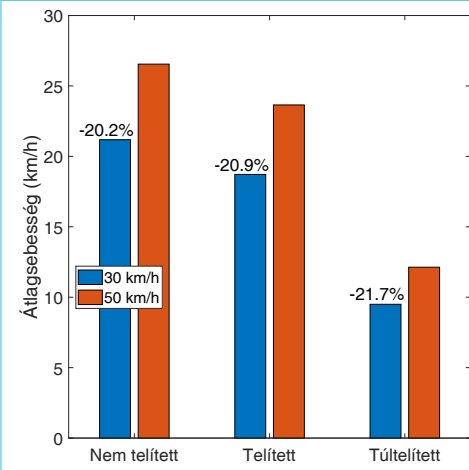
Átlagsebesség: A járművek átlagos sebessége 20%-kal csökken a sebességhatár 30 km/h-ra csökkentésével (8. ábra). Ez a hatás kis forgalom mellett kevésbé jelentős, ami inkább a járművek közötti interakciók számával indokolható. A diagramból még az is kiolvasható, hogy az átlagsebesség sebességhatártól függetlenül egyik esetben sem érte el a 30 km/h-t.

7. ábra: Átlagos utazási idő a nagykörúti hálózatban



Ez a jelzőlámpáknál történő megállásokkal magyarázható. A sebességkorlátozás hatására a lámpák között a járművezetők kevésbé gyorsíthatnak fel, valamint több időt állnak a járművek piros lámpánál, ami a megállások számából is kiolvasható.

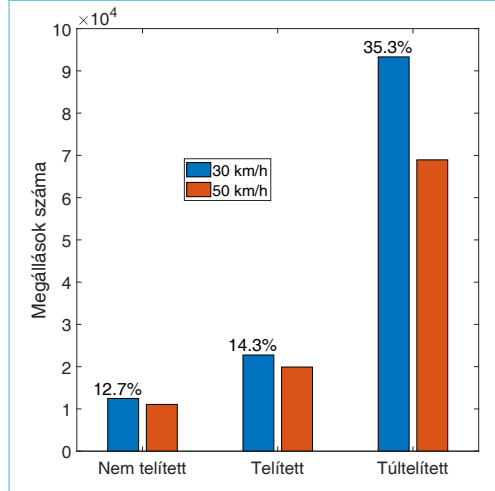
8. ábra: Átlagsebesség a nagykörúti hálózatban



Megállások száma: Egy városi útszakaszon a megállások számát elsősorban a jelzőlámpaciklusok határozzák meg. A megállások száma jelentősen megnő a sebességkorlátozás hatására azonos forgalom nagyság mellett (9. ábra).

Ennek oka, hogy a jelzőlámpákat a jelenlegi, 50 km/h-s sebesség határra hangolják be. A megállások száma alacsonyabb sebességnél is mérsékelhető a jelzőlámpaprogram újrahangolásával. A megállások száma több jármű esetén (túltelített eset) értelemszerűen jelentősen növekszik.

9. ábra: Megállások száma a nagykörúti hálózatban

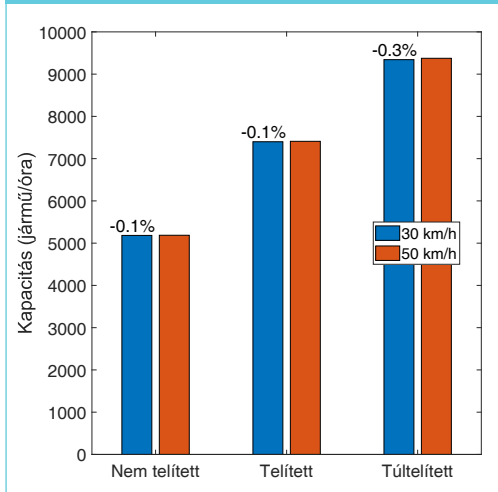


Járműszám: Az útszakasz átlagos járműszáma elhanyagolható mértékben változik a korlátozás bevezetésével (10. ábra). A változatlanág két oknak köszönhető. Egyrészt városi forgalomban a jelzőlámpák zsilipszerűen engedik ki a járműveket a hálózatból, így a jelzőlámpák közötti sebességnek nincs nagy jelentősége. Másrészt, a szimulációk során a hálózat (a feltöltési szakasz miatt) már állandósult állapotban van. A bemelő forgalom nagyság minden sebesség mellett azonos, a sebesség pedig felülről korlátos. Ekkor a járműmegmaradás elvének² betartása mellett az egyetlen szabad változó a forgalomsűrűség (jármű/km) lesz. Áramlástanban hasonlóan élve, a forgalmi hálózat egy csöként fogható fel, amelybe állandó

2 A járműmegmaradás elmélete szerint az adott útszakaszon található járművek száma $x(k+1)$ a következő mintavételi időtartamban az alábbi alapegyenlet szerint alakul: $x(k+1) = x(k) - x_i(k) + x_{in}(k)$, ahol $x(k)$ a k -adik lépésben az adott szakaszon sorban álló járművek száma, $x_i(k)$ a kihaladó járműszám, míg $x_{in}(k)$ az érkező járműszám.

tömégáramú gázt fújunk. Ha a kimenő gáz sebességét korlátozzuk (vagy akár lezárjuk a cső végét – 0 km/h sebességkorlátozás) a csőben levő gáz sűrűsége tud csak növekedni. Hasonló történik, ha a gáz áramlási sebességét korlátozzuk. Ekkor állandósult állapotban kialakul egy állandó sűrűség.

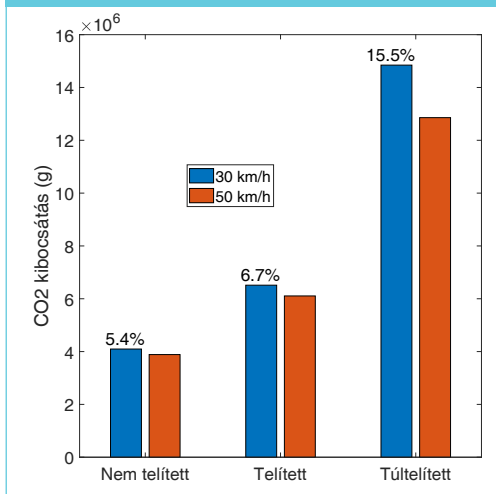
10. ábra: Forgalm nagyság változása a nagy körüti hálózatban



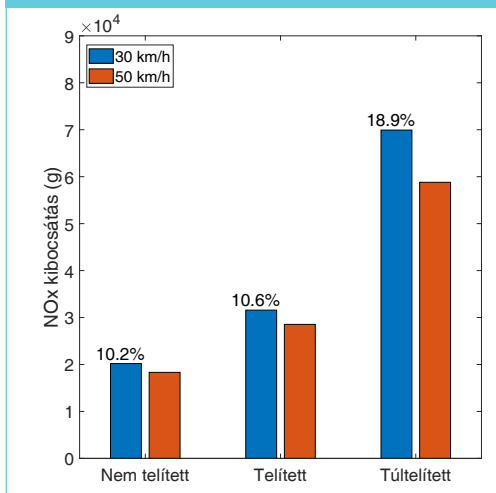
Emisszió: A hálózat egészére nézve a HBEFA modell alapján az emisszió 20 km/h-s sebességcsökkenéssel káros anyagtól és forgalm nagyságtól függően 5-19%-kal növekszik. Ennek oka, hogy a járművek átlagsebessége alacsonyabb, többet kell állniuk a jelzőlámpáknál (azok rossz hangolása okán) és több időt töltenek a hálózatban – tovább szennyeznek. Ezen túl a megállások száma is jelentősen megnő, több gyorsítást okozva. Alacsony sebesség mellett az alapjárat emisszió hatása a jelentős. A 11-12. ábrák az 1 óra alatti összes károsanyag-kibocsátást mutatják.

Balesetek száma: a sebességcsökkentés eredeti motivációja a közlekedésbiztonság javítása, ill. a balesetek számának és súlyosságának csökkentése. Külföldi sebességcsökkentési tanulmányok és a szimulációs eredmények tükrében elmondható, hogy az átlagsebesség csökkenésével a balesetek száma és súlyossága

11. ábra: CO₂ kibocsátás a nagy körüti hálózatban



12. ábra: NO_x kibocsátás a nagy körüti hálózatban



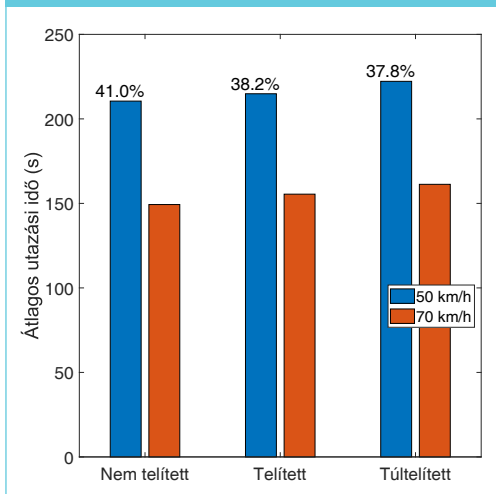
jelentősen csökken. Ugyanakkor a forgalm sűrűség (kisebb sebesség mellett kisebb követési távolság) és a megállások számának növekedésével a kevésbé súlyos („koccanásos”) balesetek számát némileg növelheti. Összességében azonban egyértelműen kijelenthető, hogy a balesetek súlyosságára nézve a sebességkorlátozó intézkedések mindig pozitív hatással vannak.

Zaj: Szimulációs eredmények alapján kvalitatív következtetéseket tudunk levonni a zajról. A közlekedési zajnak két fő összetevője van: a motorzaj és a gördülési zaj. Alacsony sebességnél ezek közül a motorzaj jelentős, a sebesség csökkenésével a gördülési zaj csökkenni fog. Mivel a szimulációk alapján a megállások száma növekszik, a gyorsításokból származó motorzaj (különösen buszok és teherautók esetén) jelentősen megnőhet.

4.2. A Nagykőrösi út kivezető szakasza

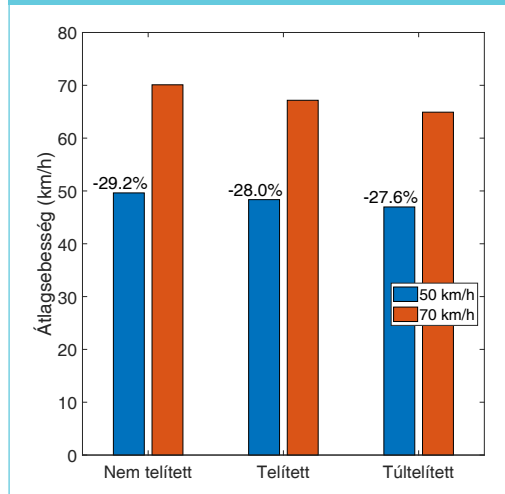
Utazási idő: A sebességcsökkenés hatására értelemszerűen a járműveknek tovább tart elhagyniuk a várost. A sebességhatár 70 km/h-ról 50 km/h-ra csökkentése kis forgalom esetén jelentős, 41%-os átlagos eljutási idő növekedést eredményez (13. ábra). A sebességkorlátozás e szempontú negatív hatása mérséklődik nagyobb forgalom esetén, hiszen az interakciók számának növekedésével az átlagsebesség is csökken.

13. ábra: Átlagos utazási idő a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



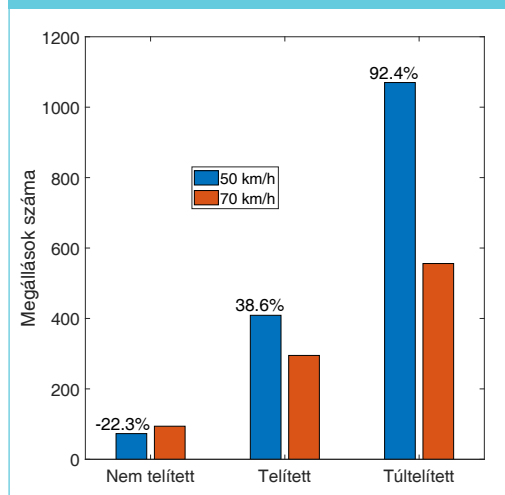
Átlagsebesség: A járművek átlagsebessége a sebességkorlátozás mellett értelemszerűen csökken (14. ábra). A forgalom nagyságának növekedésével is csökken az átlagsebesség, így a sebességkorlátozás hatása nagyobb forgalom mellett az átlagsebesség változására kisebb.

14. ábra: Átlagsebesség a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



Megállások száma: Egy városi autópálya-szakaszon, mint amilyen a Nagykőrösi út a járművek csak jelentős torlódás, forgalmi dugó esetén kényszerülnek megállásra. Telítetlen hálózat esetén a járművek a nagyjából megengedett sebességhatár szerint közlekednek, és nem kényszerülnek sem lassításra sem megállásra. Túltelített esetben azonban a járművek közti interakciók száma megnő, lökeshullá-

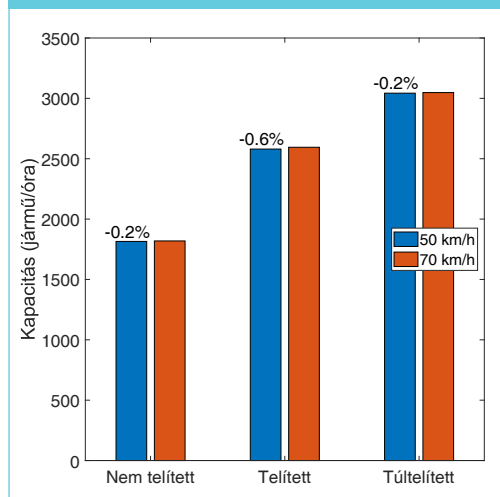
15. ábra: Megállások száma a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



mok alakulnak ki és több fékezésre kerül sor. Ezen hatások mind lassítják vagy akár megállásra is kényszeríthetik a járműveket, ezért a késések és az utazási idők megnövekednek. A megállások száma telítetlen hálózatban csökken, az áramlás sokkal egyenletesebb lesz. Telített és túltelített hálózat esetén a megállások száma sebességkorlátozásnál növekszik (15. ábra). Az alacsonyabb sebesség miatt megnövekedett forgalomsűrűség (jármű/km), a kisebb követési távolságok okán jóval több interakciót eredményez, és ez kisebb zavar esetén is akár megálláshoz vezethet. Kis forgalomsűrűség és alacsonyabb sebesség mellett a járművezetők időben képesek reagálni az előttük levő jármű fékezésére, így a lökeshullámok kevésbé alakulnak ki és a megállások könnyebben elkerülhetők.

Forgalomnagyság: Az útszakasz forgalomnagysága a korlátozás hatására nem változik jelentősen (16. ábra).

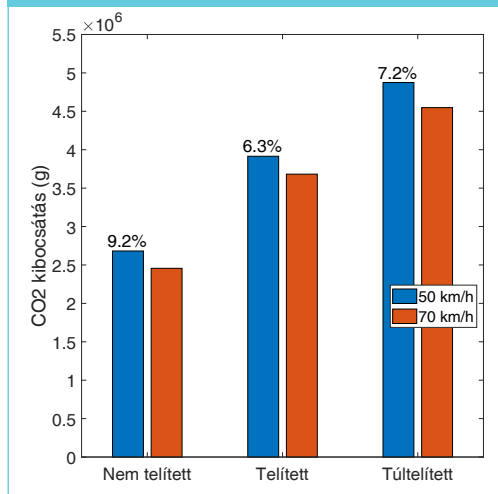
16. ábra: Forgalomnagyság változása a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



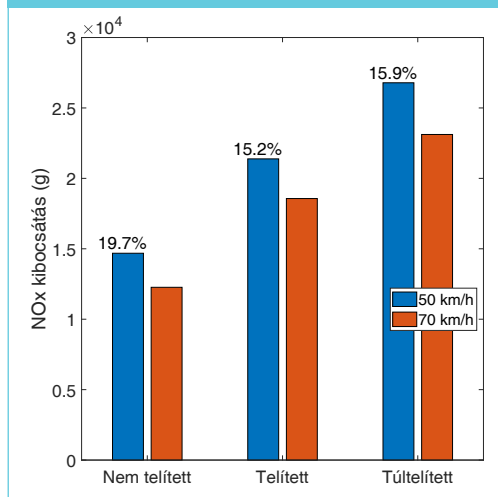
Emisszió: Az emisszió, mivel erősen függ a sebességtől, jelentősen változni fog. 20 km/h-s sebességcsökkentésnél átlagosan (minden forgalomnagyságot figyelembe véve) a CO₂ kibocsátás 8%-kal (17. ábra), míg a NO_x átlagosan 17%-kal növekszik (18. ábra). Ezzel szemben a CO kibocsátás 14%-kal növekszik. Magas se-

besség mellett a légellenállás hatása jelentős. Sebességcsökkentéssel a sebességfüggő ellenállások csökkenthetők, így a járműveknek kisebb teljesítményt kell leadniuk, csökken a fogyasztásuk és a károsanyag-kibocsátásuk. Ezzel ellentétes hatásként viszont több időt töltenek a hálózatban, tovább szennyeznek. Ezen két ellentétes hatás eredőjeként adódhat ki más szennyezőre más irányú eredmény.

17. ábra: CO₂ változás a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



18. ábra: NO_x változás a Nagykőrösi út kivezető szakaszán



Balesetek száma: A szakirodalomban publikáltaknak megfelelően az átlagsebesség csökkenésével a balesetek száma és súlyossága jelentősen csökken.

Zaj: A nagyobb átlagos sebesség esetén a gördülésből és a menetszélből adódó zaj a jelentős. A sebesség csökkenésével a zaj is csökken. Az útszakaszon mindkét oldalán zajvédő fal van, így a zajszennyezés egyébként sem jelentős probléma. A 70-ről 50 km/h-ra történő csökkentés egyértelműen a zaj csökkenésével jár.

5. A SEBESSÉGCSÖKKENTÉS KÖZLEKEDÉSSZERVEZÉSI ÉS FORGALOMIRÁNYÍTÁSI ASPEKTUSAI

A bemutatott szimulációs vizsgálati eredmények mellett fontos megemlíteni, hogy egy városra vagy annak részhálózataira kiterjedő sebességkorlátozás bevezetése előtt érdemes annak közvetett hatásait is számba venni, hiszen ezek nagymértékben érinthetik a város közlekedésszervezését, forgalomirányítását. Alábbiakban ezeket az aspektusokat és a csökkentéssel járó megkerülhetetlen beavatkozásokat ismertetjük - azok részletes bemutatása nélkül:

- Közlekedési táblák / útburkolati jelek cseréje, ill. további új táblák / útburkolati jelek szükséglete.
- A jelzőlámpás forgalomirányítás programjainak, ill. a zöldhullámok újrahangelése.
- Megszűnő sávok, ill. új kerékpársávok/buszsávok/járdák kezelése.
- A sebességkorlátozás változásával az optimális útvonalak is megváltoznak (pl. a Google Maps is máshogy fog tervezni, akár mellékutcákba fog „irányítani” nagy forgalmat).
- Amennyiben a csökkentett sebességet az autósok nem tartják be megfelelőképpen, további beruházások szükségesek annak betartatására (angol szakirodalomban: „traffic enforcement”).
- A közlekedési módváltás is megváltozhat, amely kihatással lehet a közösségi közlekedés szervezésére. Pl. menetidő növekedés, a menetrendek átalakítása, esetlegesen több jármű és sofőr a hosszabb menetidő miatt.

6. KONKLÚZIÓK

A szimulációs vizsgálatok alapján megállapítható legfontosabb konklúziók:

- Emisszió: nem egyértelmű melyik irányba változik, mert függ a forgalom aktuális állapotától (torlódott vagy nem) és a járművek összetételétől. Ugyanakkor nagy általánosságban elmondható, hogy az 50-ről 30 km/h-ra történő csökkentés alapvetően az emisszió növekedésével jár, a 70-ről 50 km/h-ra történő csökkentés pedig vegyes eredményeket hoz, káros anyagtól függően, (de inkább az emisszió enyhe növekedésével jár).
- Az átlagos eljutási idő (késési idő) és a megállások száma generálisan nő.
- Az úthálózat forgalomnagyságát (kapacitását) alapvetően nem befolyásolja a sebességkorlátozás változása. Ennek magyarázata az a makroszkopikus folyadékaramlati törvényszerűség $Q=\rho \cdot V$ (misperint a Q forgalomnagyság (jm/h) a ρ járműsűrűség (jm/km) és a V térbeli átlagsebesség szorzata), amely a közúti közlekedési hálózat áramlataira is igaz. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a – csökkentési intézkedés miatt kialakuló – kisebb átlagsebesség nagyobb járműsűrűséget okoz, hiszen kisebb sebesség mellett a járművezetők kisebb követési távolságot is tartanak. Azaz összességében a $Q=\rho \cdot V$ egyenletben a Q állandó marad.
- A fenti tapasztalat miatt fontos kiemelni, hogy az úthálózat kapacitását alapvetően nem lehet növelni, mert azt a meglévő infrastruktúra (jelzőlámpás irányítás, sávszám, stb.) határozza meg. Ugyanezen okból kifolyólag, amennyiben az úthálózaton generálisan forgalmat szeretnénk csökkenteni, azt hatékonyan csak közlekedéspolitikai eszközökkel lehet megtenni, pl. módváltásra ösztönzéssel, behajtási díj kivetésével.
- A zajszennyezés arányos a gyorsulással, így arra nagy hatással lehet a 30 km/h-s sebes-

séghatár [10]. Az 50-ről 30 km/h-ra történő sebességcsökkentés alapvetően olyan forgalmi állapotokhoz vezet, ami sokkal több megállással–elindulással járhat. Ez pedig a zaj növekedésével jár. Ugyanakkor a 70-ről 50 km/h-ra történő csökkentés esetén csökken a zajkibocsátás, a gördülési zaj és a motorzaj csökkenésével amennyiben szabadáramlási forgalomról beszélünk. Összességében megjegyzendő, hogy a zajemisszióra leginkább a torlódás van hatással, hiszen ha forgalmi dugó van, az aktuális sebességhatártól függetlenül nagyobb lesz a zaj a sok megállás–elindulás miatt.

- A baleseti kockázatra, ill. a balesetek súlyosságára nézve a forgalomszimulációs szoftver nem ad kvantitatív eredményeket, ugyanakkor a szakirodalomnak megfelelően elmondható, hogy a közlekedésbiztonság egyértelműen és nagyon jelentősen (négyzetesen, de legalább lineárisan) növekszik a sebességkorlátozás változásának mértékével. Egy esetleges sebességcsökkentési intézkedés tehát ennél a faktornál egyértelműen pozitív hatású.

Kutatásunk legfontosabb tapasztalataként elmondható, hogy egy esetleges sebességhatár-csökkentési intézkedés bevezetése előtt mindenképpen alapos és mély közlekedésmérnöki vizsgálat szükséges, amelyet azután szakmai és társadalmi vita, majd konszenzus kell, hogy kövessen. Egy város úthálózata rendkívül összetett: egyes utakon/részhálózatokon kifejezetten előnyös, másokon pedig előnytelen lehet a sebességkorlátozás bevezetése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk elkészítésével kapcsolatos köszönetnyilvánítás: EFOP-3.6.2-16-2017-00002: Autonóm járműrendszerek kutatása a zalaegerszegi autonóm tesztpályához kapcsolódóan - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Folgerø, I.K., Harding, T., Westby, B.S.: Going fast or going green? Evidence from environmental speed limits in Norway, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 82, 2020,102261, ISSN 1361-9209, DOI: <http://doi.org/d7gj>
- [2] Archer, J., Fotheringham, N., Symmons, M., & Corben, B.: The impact of lowered speed limits in urban/metropolitan areas. *Monash University Accident Research Center and Transport Accident Commission*, Vol 276, pp. 7–14., 2008, https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0007/216736/The-impact-of-lowered-speed-limits-in-urban-and-metropolitan-areas.pdf
- [3] Török Á., Zöldy M.: Energetic and economical investigation of greenhouse gas emission of Hungarian road transport sector, *Pollack Periodica*, 5(3), 123-132. Retrieved Jun 22, 2020, from <https://akjournals.com/view/journals/606/5/3/article-p123.xml> DOI: <http://doi.org/d3vxfp>
- [4] Szele, A., Kisgyörgy, L.: Traffic Management of the Congested Urban-suburban Arterial Roads, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(4), pp. 1103-1111, 2019. DOI: <http://doi.org/d7gk>
- [5] Nilsson G.: Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. *Bulletin 221*, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 2004, <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4394446/1693353.pdf>
- [6] Ang, A., Christensen, P., Vieira, R.: Should congested cities reduce their speed limits? Evidence from São Paulo, Brazil, *Journal of Public Economics*, Volume 184, 2020, 104155, DOI: <http://doi.org/gg6zm7>
- [7] Tang, J., McNabola, A., Misstear, B., Pilla, F. and Alam, M.S., 2019. Assessing the impact of vehicle speed limits and fleet composition on air quality near a school. *International journal of environmental research and public health*, 16(1), p.149. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/1/149/pdf> DOI: <http://doi.org/d7gm>

- [8] Keller, M., Hausberger, S., Matzer, C., Wüthrich, P., & Notter, B. (2017). HBEFA Version 3.3. Background documentation, Berne, 12.
- [9] Olstam, Johan Janson, and Andreas Tapani: Comparison of Car-following models. Vol. 960. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute, 2004
- [10] Hammer, Emanuel, et al.: Traffic noise emission modelling at lower speeds. Conference Proceeding ICSV. Vol. 2016. 2016



Impact assessment of changes in Budapest speed limits with traffic simulation

Road traffic congestion has now become virtually an everyday phenomenon on the roads of big cities around the world. The explanation for this is clear: the capacity of transport networks becomes saturated during peak hours, so the increasing demands cannot be adequately served, not even by the operation of traffic-dependent traffic light control. Several methods are being experimented with in order to improve the situation: their essence is that these measures are effective.



Folgenabschätzung von Änderungen der Geschwindigkeitsbegrenzungen in Budapest mit der Hilfe von Verkehrssimulation

Straßenverkehrsstaus sind auf den Straßen von Großstädten auf der ganzen Welt mittlerweile praktisch alltäglich. Die Erklärung für dieses Phänomen ist klar: die Kapazität von Verkehrsnetzen ist während der Stoßzeiten gesättigt, so dass die steigenden Anforderungen nicht angemessen bedient werden können, selbst wenn z.B. eine verkehrabhängige Ampelsteuerung funktioniert. Es werden verschiedene Methoden erprobt, um die Situation zu verbessern, deren Kern darin besteht, eine solche Maßnahme wirksam zu machen.

