

Egyedi sebességfolyamatok kinyerése, nagyméretű városi úthálózatok modellezése során

Dr. Péter Tamás, Bede Zsuzsanna

*BME Közlekedésautomatikai Tanszék
(e-mail: bede.zsuzsanna@mail.bme.hu)

**BME Közlekedésautomatikai Tanszék
(e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)

Összefoglalás: A bemutatott anyag, az alternatív hajtásrendszerek műszaki elemzéséhez és kutatáshoz ad a valós forgalmi körülményeket figyelembe véve, egyedi sebességfolyamatokat [1].

1. BEVEZETÉS

Az iparilag fejlett országok mindegyike hatósági előírásokkal korlátozza a járműmotorok környezetszennyezését. Ezek az előírások minden olyan gyártóra vonatkoznak, amelyek az adott országban kívánják értékesíteni a járműveiket. A hatósági előírások különböző görgős járműfékpadai menetprogramokat vagy motorfékpadai vizsgálati programokat, eltérő mérési eljárásokat és különböző határértékeket tartalmaznak járműkategóriánként. Az előírások egységesítése napjainkban végbemenő folyamat, de egyes országokban ill. országcsoportokban környezetvédelmi, gazdasági, műszaki, klimatikus vagy egyéb okokból még mindig többé-kevésbé eltérő előírások vannak érvényben. A követelményeket jórészt a közlekedés sajátosságai szerint statisztikai adatokból állapítják meg [2].

Az előírások vonatkozhatnak:

- A kipufogógázok káros összetevőire (A CO₂ nem tartozik hivatalosan a károsanyagok közé, ugyanis természetes égéstermék a tökéletes munkafolyamat során, mindezek ellenére az üvegházhatás egyik legfontosabb okozója.). Általában a következő kipufogógáz-összetevőket korlátozzák: szénhidrogének (HC), szén-monoxid (CO), nitrogénoxidok (NO_x), és ezeken túlmenően dízelmotorok kipufogógázaiban a részecske (cseppfolyós- és szilárdanyag) -tartalom és/vagy a füstszűrőség (a látást korlátozó kipufogógáz-összetevők).

- A típusvizsgálaton ellenőrzött értékek tartósságára

- A járműveknek meghatározott út - jelenleg Európában a személygépkocsik 80.000 km, 2005-től 100.000 km - megtételéig nem léphetik túl a típusvizsgálati korlátozás másfélszeres értékét.

- A jármű fogyasztására (vagy CO₂-kibocsátására)

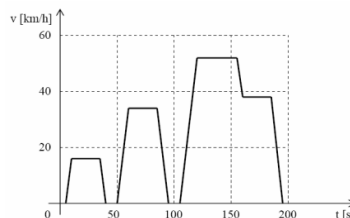
Az Európai Unióban a közvetlen tüzelőanyag-fogyasztásra vonatkozó hatósági előírás nincs. Közvetve azonban fogyasztáscsökkentő hatása van a CO₂-korlátozásoknak. Adott benzin-összetételnél ugyanis a tüzelőanyag-fogyasztás és a CO₂-kibocsátás egyenesen arányos. Az ACEA (Európai Járműgyártók Szövetsége) vállalása szerint a 2008-ig a személygépkocsik átlagos flottakibocsátását 140 g/km alá csökkenti, amit sajnos csak igen kevés gyártónak sikerült megvalósítania. Ez 25 % -kal kevesebb, mint az 1995-as átlag-kibocsátás. Az EU 2010-re 120 g/km értékhatárt ír elő, ez átlagos benzinösszetétel esetén mintegy 5 l/100 km tüzelőanyag-flottafogyasztásnak felel meg. (Flottakibocsátás, flottafogyasztás: a járműgyártó által értékesített összes jármű kibocsátásának, fogyasztásának átlaga.) E határérték bevezetését később 2012-re módosította. Ezzel a járműgyártók kaptak valamekkora haladékot a nagyobb motorral szerelt kocsik értékesítése terén, azonban a közeljövőben várható CO₂ alapú adózás várhatóan visszavetheti a nagy hengerűrtartalmú járművek megvásárlási kedvét, és így a prémium kategóriákat gyártó vállalatok döntő bevételi forrását. [3]

2. MENETCIKLUSOK

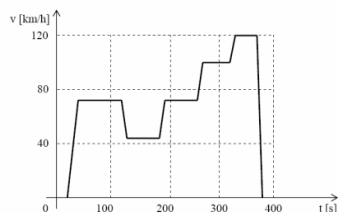
2.1 Új európai menetciklus [4]

(NEDC – New European Driving Cycle, NEFZ – Neue Europäische Fahrzyklus)

A 2000 előtt (EURO 1 és EURO 2) a városi Európa-menetciklus szerint vizsgálták a személygépkocsikat (1. ábra).

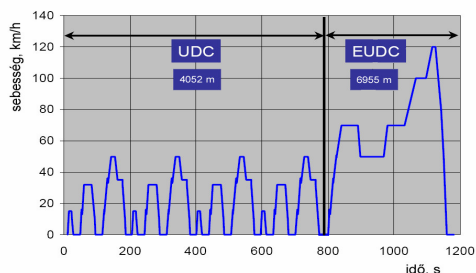


1. ábra Városi menetciklus (UDC – Urban Driving Cycle)



2. ábra Országúti menetciklus (EUDC – Extra Urban Driving Cycle)

Ez a 3. ábrán látható diagram bal oldalával egyezik meg, (UDC - Urban Drive Cycle), melynek átlagsebessége 18,7 km/h. Ennek hátránya, hogy nem veszi figyelembe az országúton, illetve autópályán megtett kilométereket, melyek a jármű életének jelentős hányadát teszik ki.



3. ábra Városi és városon kívüli Európa-menetciklus

Az EURO 3 előírások bevezetésétől, 2000-től a városi ciklust országúti menetciklussal (EUDC) egészítették ki. A kipufogógázokból folyamatosan vesznek mintát, majd a teljes ciklus alatt kibocsátott összetevőt g/km egységre számítják át. A teljes ciklus az új Európa Menetciklus nevet kapta (NEDC = UDC+EUDC), melynek jellemzői:

A teljes menetciklus 4 városi és egy országúti ciklusból áll: $NEDC = 4UDC + EUDC$ (1)

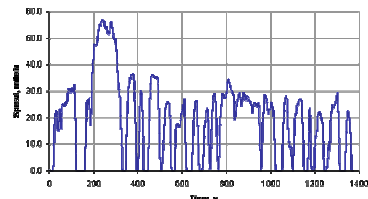
A teljes menetciklus:

- hossza: 11 km,
- időtartama: 1200 s (=20 perc),
- átlagsebessége: 32,5 km/h,
- legnagyobb sebessége: 120 km/h.

2.2 Észak-Amerikai menetciklusok

Észak-Amerikában más ciklusok alapján vizsgálják be a járműveket, melyek közül a legfontosabbakat a teljesség kedvéért bemutatjuk. Az FTP-72 (Federal Test Procedure) menetciklus városi közlekedést szimulál 12,07 km (7.5 miles-mérföld) hosszon gyakori megállásokkal. A maximális sebesség 91,2

km/h (56.7 mph) és az átlagsebesség 31,5 km/h (19.6 mph)



4. ábra FTP-72 menetciklus

A ciklus két részből áll: egy 505 másodperces (5,78 km 41,2 átlagsebességgel) és egy 864 másodperces szakaszból. Az első szakasz hideg indítással kezd. A második szakasznál megszakítják a mérést egy 10 másodpercig tartó üresjárással.

Az FTP-75 menetciklus az FTP-72 menetciklusból ered. Az FTP-72 menetciklushoz hozzáadódik egy harmadik 505 másodperces szakasz, ami megegyezik az FTP-72 menetciklus első szakaszával, de ezt már meleg indítással végzik. A harmadik szakaszt ugyancsak megelőzi egy 10 perces üresjárása a motornak. Tehát a teljes FTP-75 menetciklus az alábbi részekből áll:

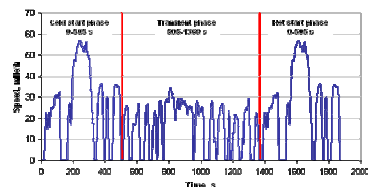
1. a hideg indítási szakasz
2. az átmeneti szakasz
3. a meleg indítási szakasz

Ezen menetciklus paraméterei az alábbiak:

Hossza: 17,77 km (11.04 miles)

Időtartama: 1874 s

Átlagsebessége: 34,1 km/h (21,2 mph)



5. ábra FTP-75 menetciklus

A kipufogó gázt mind a három szakasznál külön egy elválasztott teflon zacskóba gyűjtik, a kiértékelés során g/km (g/mile) egységben fejezik ki.

A SC03 már említett kiegészítő tesz, mely megmutatja üresjárás mellett a légkondicionáló egységgel ellátott járművek többlet emisszióját.

2.3 A menetciklusok kiválasztása

A valóságban a haladási profil bonyolult, összetett gyorsulások, lassulások és gyakori megállások sorozatából áll [2]. Ezen értékek eltérnek a laboratóriumban a görgősfékpádon mért értékektől.

Az új európai menetciklus (NEDC) az EU-ban jóváhagyott laboratóriumi tesztek alkalmazásának kiindulópontja két európai főváros (Párizs és Róma) forgalmi adatai.

A járművek károsanyag kibocsátása nagy mértékben függ a vezetési stílustól, amelyre nagy hatással van az adott pillanatnyi forgalom alakulása. A menetciklusok sebesség-idő diagramjai a városi haladást reprezentálják. A városi forgalom feltételeit figyelembe véve fékpadi méréssel laboratóriumi körülmények között vizsgálják a tüzelőanyag fogyasztást, a kipufogógáz összetételét és együttthatóit.

A menetciklusok fejlesztésénél kétféle utat különböztetünk meg. Az egyik módszernél változik a konstans gyorsítási, lassítási és állandó sebesség érték, ilyen például a NEDC és ECE menetciklusok, ezen ciklusokat a poligonális, sokszögű modellek közé sorolják. A másik típus már közelebb áll a valós sebességprofilhoz, így ezeket „real-word – valóság” menetciklusok közé sorolják. Ilyen menetciklus az FTP-75, mely a poligonális modellekhez képest dinamikusabb, a hirtelen gyorsulásokat és lassulásokat figyelembe veszi, így jobban visszatükrözi az útviszonyoknak megfelelően mért sebességértékeket. Ez a dinamikusabb sebességprofil a valóságnak megfelelően, pontosabb emissziós értékeket ad, mint a szabályos menet-diagrammal rendelkező tesztek során mért értékek.

A standard vizsgálat során megméri a tüzelőanyag fogyasztást és károsanyag kibocsátást. A 70/220/EU direktíva nyomon követi az új típusú járművek megjelenését 1970 óta folyamatosan frissülve, és így leírja az összes eljárást, amelyek ezen járművekkel kapcsolatban szóba jöhetnek.

Jelen kutatásban az európai szabályozásban megtalálható menetciklusokat alkalmaztuk a hajtásrendszerek összevetésére. A szimulációt elvégeztük külön-külön is a városi UDC (= 4 x ECE15), az országúti EUDC, valamint a kettő egyszerre tartalmazó NEDC ciklusokra egyaránt. Szimulációt végeztünk továbbá a forgalomszimuláció eredményei közül kiválasztott két menetciklussal. Ezek bemutatása a Forgalomszimuláció című fejezetben található, ahol a szabványos ciklusokkal röviden összevetjük őket.

Európában, és így Magyarországon, személygépkocsikra a NEDC menetciklus vonatkozik, amely információt szolgáltat a jármű viselkedéséről nagy sebességnél is, valamint átfogó képet ad a károsanyag kibocsátásáról. Akárhogy is nézzük, ez mégis egy szegényes viszonyítási alap a valódi tüzelőanyag fogyasztásról és emisszióról. Ha csak Európa fővárosait nézzük, már akkor is jelentős eltéréseket figyelhetünk meg ezen városok forgalom alakulását tekintve. A forgalmat befolyásoló tényezők többek között az

infrastrukturális kialakítás, az úthálózat, és akár az adott város tömegközlekedési rendszere is, amely hatással van a járműpark alakulására. Így, ha valódi képet szeretnénk kapni egy adott városban közlekedő jármű környezetre gyakorolt hatásáról, úgy a mérés során figyelembe kell venni azon város sajátosságát, sőt, az adott ország közlekedési szokásait.

Kétségtelen, hogy a fentebb bemutatott ciklusok az egyes gépjárművek illetve adott kategóriába tartozó gépjárműtípusok összehasonlítására megfelelnek, hiszen minden típust azonos körülmények között vizsgálják meg. A szabvány célja a közúti tüzelőanyag takarékoság szabályozása, végső soron a tüzelőanyag fogyasztás csökkentése. Sajnálatosan nagy eltérés mutatkozik azonban a jelenlegi teszt eredmények és a forgalomban mért értékek között. Rendszerint a közúton mért értékek rosszabbak, mint a menetciklus során kimért értékek. Menetciklusok soha nem tudnak teljesen megegyezni a közúti viselkedéssel és az egyszeri teszt nem tükrözi az általános forgalmat és annak környezetét minden egyes járművetetővel, de néhány javítás a menetcikluson megközelítheti a valóságot. Az Egyesült Államok környezetvédelmi hivatala, az EPA alkalmaz egy csökkentett tényezőt a könnyű gépjárműveken végzett teszt eredményekre a tüzelőanyag takarékosággal kapcsolatban, bevonva a fogyasztót is az új jármű adataival, a rá jellemző menet tulajdonságokkal, amelyek közelebb vannak a tényleges üzemanyag fogyasztáshoz.

Az egyik probléma, hogy a gyárak a járműveket a menetciklus által végzett teszt optimumához hangolják, tudván a forgalomban történő teljesítés rosszabb lesz. Ennek elkerülésére egy lehetőség a menetciklusok rangsorolása (pl.: városi torlódásról, dugóról; csúcsforgalomról; városok közötti vagy vidéki forgalom; stb. van-e szó), a lehetőséghez mérten a menetciklusok számát az optimálisra csökkenteni, egy vagy két ciklusra. A jármű hatékony besorolásához nem feltétlenül szükséges mindkét vizsgálatot ellátni, városi és extra városi menetciklussal, a fogyasztó választhatja meg azt a menetciklust mely jobban hasonlít a jármű általános használatához.

A technika újabban elérhetővé teszi akár a jármű emissziójának valós idejű mérését vagy becslését, melynek segítségével a várható értéket az emissziós határ alatt tartják. Ennek érdekében megváltoztatják a hajtás feltételeit vagy beavatkoznak az elektronikus motor menedzsment rendszerbe, amikor a kibocsátás túllépi az előírt értéket. Ez bevetésre került a NO_x emissziós szabályozásánál (nehéz gépjárművek kipufogógáz visszavezetése), de a technika lehetővé teszi a CO₂ emissziónál is (melyhez viszonyítva közvetlenül megállapítható az üzemanyag fogyasztás), így lehetővé téve a folyamatos korlát körüli szabályozást az összes

hajtási feltétel, követelmény figyelembe vételével. De hogyan lehet ilyen határt elérni másképpen, közelítsük meg praktikusán ezt a kérdést.

A menetciklushoz kapcsolódó vonatkozások eltérnek a különböző régiókban és országokban. Pl.: közlekedés egy túlszűfolt európai városban jelentősen különbözhet egy japán vagy egy amerikai városban kialakult dugóban, ami magába foglalja hogy az egységes menetciklus pontatlanná válik mindhárom számára.

Az ENSZ illetékes hivatala, az UNECE a következő évtizedre tervezi megváltoztatni a menetciklusokat, megvalósítani egy nemzetközi összehangolást, és a jelenlegi eltérést világszerte szabályos menetciklusokba sorolni – legalább a könnyű (< 3,5 t) járművek részére. Az összehangolt menetciklus azért jelent bonyolult feladatot, mert nem csak a megfelelően felvett technológiai szabályzást kell figyelembe venni, hanem a jövőbeni piac alakulását is. Szükségessé válik a hibrid és elektromos járművek vizsgálata is, ha ezek használata általánossá fog válni. Ez feltételezi a well-to-wheel CO₂ emissziós értékek változását is.

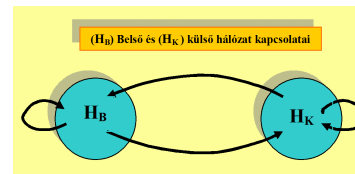
Menetciklusokat alkalmazzák a járművek kiegészítő berendezéseinek beállítására is. A teszt minden külső berendezéssel fut, úgy mint fűtő és hűtő rendszerek, ablaknyitó vagy ablaktörlő működtető villanymotorok. A spórolást várni a jobb kenőanyagtól, kerekektől, légkondicionálótól és az elektromos rendszertől nem triviális, pedig az aktuális átlagfogyasztásnak kb. 5-10 %-át okozzák ezek a tényezők (OECD/ECMT/IEA 2005). Ezenkívül az üzemeltető mindig az alacsony költség felé halad és a felsoroltak közül csak néhány megoldás alkalmas az utólagos modernizálásra (pl.: gumiabroncs cseréje). Az új technológiáknak sajátosságos ösztönzése is szükséges lehet, mivel a felhasználók immunisak a jármű szabványokra, valamint még inkább gyenge hatással van rájuk az üzemanyag- vagy szén-dioxid alapú adó, amit sokhelyütt a jármű vásárlásához kötnek.

3. FORGALOMSZIMULÁCIÓ

Először is nézzük meg a forgalmi modellt felépítő szimulációs programot. Ezen program egy nagyméretű közúti közlekedési hálózatokra kifejlesztett szoftver [5,6]. A működését egy nemlineáris hálózati modell szabja meg, amelyek kapcsolati mátrixa az alábbiak alapján épül fel:

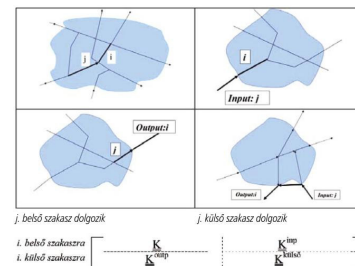
Az n db belső útszakaszból álló közlekedési hálózati modellünk írja le azt a közúti/városi közlekedési rendszer t , amely egy zár t görbével körülhatárolt tartományában helyezkedik el [7,8,9]. Ez esetben a (HB) belső hálózaton kialakuló járműsűrűségek a rendszer állapotjellemzői, rendre $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, ..., $x_n(t)$. A modell, a (HK) külső hálózat azon részhálózatát is használja, amely olyan

m db szakaszból áll, amelyeknek közvetlen kapcsolata van valamely belső szakasszal. Az ezeken kialakuló járműsűrűségeket jelöli $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_m(t)$, amelyeket mérések alapján ismerünk.



6. ábra a belső és külső hálózat kapcsolatai [10]

A hálózatot leíró matematikai modellünk figyelembe veszi a hálózat tartományon belüli belső és a tartományon kívüli külső kapcsolatait is (6. ábra): A hálózati matematikai modell megalkotásához tehát, alapvető fontossággal bír a hálózatot definiáló kapcsolati mátrix, amely egy hiperháromszög.



7. ábra a belső és külső hálózat kapcsolatai hiperháromszög [8]

A modellünk három kapcsolati mátrixot alkalmaz: belső, input és output kapcsolati mátrixot.

Ezen kapcsolati mátrixok felépítése megegyezik, kialakításuk során megvizsgáljuk az oszlopokban feltüntetett összes szakaszhoz kapcsolódó sorokban lévő szakaszokat, amely szakaszok között kapcsolat lehet ott azon oszlop azon sorába (példánkban a j oszlop i -ik sorába) beírjuk a K_{ij} kapcsolati függvényt ($i \neq j$, $1 \leq i, j \leq n$). A kapcsolati mátrix K_{ij} kapcsolati függvényénél figyelembe kell venni minden, a forgalmi rend kialakításánál meghatározott szabályozási kapcsolati jellemzőt (pl. lámpa vagy lámpa nélküli, útszakasz–parkoló, stb. kapcsolatokat), ezeket írjuk le a $k_{ij}(t)$ függvényekkel.

Ezen kívül figyelembe kell venni, hogy a forgalom létrejöttkor fellépnek belső szabályozási automatizmusok is! Modellünkben, a forgalom sűrűségétől függő belső szabályozásokat tettük figyelembe az $S_i(t)$, $E_j(t)$ és $v_{ij}(t)$ függvények alkalmazásával. Tehát a K_{ij} -t négy tényező határozza meg.

- A $k_{ij}(t)$ függvény értéke, ha lámpa van az 1,0 értéket veszi fel, a lámpa állapota szerint. Ha állandó lámpa nélküli kapcsolat van és a j szakasz

csak i-re dolgozik, akkor 1 konstans az értéke, ha nincs geometriai kapcsolat a két szakasz között, akkor 0 konstans. Ha a j-ik szakasz több szakaszra dolgozik lámpa nélkül, akkor $0 < \alpha_{ij} < 1$ elosztási arányt vesz fel, ahol egy oszlopban $\sum(j) \alpha_{ij} = 1$. Ha a kapcsolatot zavarják, pl. keresztező járművek, gyalogosok vagy baleset, akkor $0 < \beta_{ij} < 1$ zavarási tényező értéket vesz fel. Ha a kapcsolatot segítik, pl. másik irányt keresztező járművek vagy rendőr, akkor $1 + \beta_{ij}$ rásegítési tényező értéket vesz fel. Ha egyszerre van jelen elosztás és zavarás, ill. elosztás és rásegítés is, akkor $\alpha_{ij} \beta_{ij}$ ill. $\alpha_{ij} (1 + \beta_{ij})$ szorzat lép fel.

- Az $S_i(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1,0 értékeket vesz fel. Kapcsolat engedélyezése, ha az i-ik szakasz sűrűsége $s_i(t)$ kisebb, mint 1, egyébként 0.

- Az $E_j(t)$ automatikus belső önszabályozási függvény 1,0 értékeket vesz fel. Kapcsolat tiltása, ha a j-ik szakasz sűrűsége $s_j(t)$ kisebb, mint 0, egyébként 1.

- A $v_{ij}(t)$ a j-ik szakaszról i-ik szakaszra történő áthaladás sebessége, amely a csatlakozó szakaszok sűrűségeinek függvénye, $v_{ij}(t) = f(s_i(t), s_j(t))$.

4. NEMLINEÁRIS HÁLÓZATI MODELL A NAGYMÉRETŰ KÖZLEKEDÉSI HÁLÓZATOK MODELLEZÉSÉRE

Tekintsük a hálózatot t időpontban és vizsgáljuk a $t + \Delta t$ időpontban kialakult helyzetet [8]. Egymáshoz csatlakozó szakaszokon Δt időtartam alatt a v_{ij} sebességgel átáramló járművek $\Delta n = v_{ij} \Delta t$ úthosszat tesznek meg. 100%-os járműsűrűség esetén és h várható (átlagos) járműhossz érték mellett a Δn átadott járműszám: $\Delta n = \Delta l / h = v_{ij} \Delta t / h$. Természetesen a j szakaszról ténylegesen átadott járműszámot befolyásolja a j szakaszon mérhető s_j járműsűrűség értéke is, így: $\Delta n = s_j v_{ij} \Delta t / h$. Ez alapján a hálózat egyes szakaszain tartózkodó járművek számát $t + \Delta t$ időpontban az alábbi (1) egyenletrendszer írja le:

$$N_{(n \times 1)}(t + \Delta t) = N_{(n \times 1)}(t) + K_{(n \times n)}[k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) v_{ij}(t)] N_{(n \times 1)}[s_j(t)] \Delta t / h + K_{\text{imp}(n \times \text{nip})}[k_{\text{imp}ij}(t) S_i(t) v_{ij}(t)] N_{\text{imp}(n \times 1)}[s_{\text{imp}j}(t)] \Delta t / h \quad (1)$$

$N_{(n \times 1)}[s_j(t)] \Delta t / h$, $N_{\text{imp}(n \times 1)}[s_{\text{imp}j}(t)] \Delta t / h$ a j-ik szakaszról, 1 m/s sebesség mellett átadott járműszámokat tartalmazó vektorok. A fenti egyenlet differencia egyenletként nagyméretű nemlineáris hálózatok szimulációs vizsgálatára alkalmazható.

Írjuk fel végül a hálózat matematikai modelljét. Mivel N_a és N_{imp} vektorok koordinátafüggvényei a szakaszokon fellépő forgalom sűrűség-függvények, ezt a matematikai modellben az alábbi átjelölésekkel fejezzük ki:

$$N_a = s[s_j(t)] \text{ és } N_{\text{imp}} = s_{\text{imp}}[s_{\text{imp}j}(t)]. \quad (2)$$

Mivel egy i-ik szakaszon (amelynek hossza l_i) a járműsűrűség $s_i(t) = N_i(t) / l_i$, ezért az N vektor koordináta-függvényeinél alkalmazzuk az $N_i(t) = l_i s_i(t) / h$ átszámítást, ezáltal:

$$N_{(n \times 1)}(t + \Delta t) - N_{(n \times 1)}(t) = \langle l_i \rangle_{(n \times n)} ((s_{(n \times 1)}(t + \Delta t) - s_{(n \times 1)}(t)) / h, \quad (3)$$

ahol:

$\langle l_i \rangle_{(n \times n)}$, a szakaszok hosszát tartalmazó diagonális mátrix.

A szakaszokon időben kialakuló járműsűrűség-függvények t szerint differenciálható függvények (mivel a járművek áramlási sebessége a szakaszokon t -szerint differenciálható függvények és a járműsűrűsége felírt, sebességtől függő analitikusan megadott függvények a sebesség szerint szintén differenciálható függvények), ezért a differenciaegyenlet mindkét oldalát $h/\Delta t$ -vel szorozva létezik az alábbi határérték:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} (s_{(n \times 1)}(t + \Delta t) - s_{(n \times 1)}(t)) / \Delta t = s'(t) \quad (4)$$

Rendezve az (1) differenciaegyenletet és $\Delta t \rightarrow 0$ határátmenetet alkalmazva, a szakaszok sűrűségére az alábbi elsőrendű nemlineáris mátrix differenciaegyenlet-rendszert kapjuk:

$$\langle l_i \rangle_{(n \times n)} s'_{(n \times 1)}(t) = K_{(n \times n)} [k_{ij}(t) S_i(t) E_j(t) f(s_i(t), s_j(t))] s_{(n \times 1)}[s_j(t)] + K_{\text{imp}(n \times \text{nip})} [k_{\text{imp}ij}(t) S_i(t) f(s_i(t), s_j(t))] s_{\text{imp}(n \times 1)}[s_{\text{imp}j}(t)] \quad (5)$$

Tehát a nemlineáris közlekedési hálózati rendszer s állapotjellemző vektorára az alábbi tömörebb alakú differenciaegyenlet-rendszer adódott:

$$s'_{(n \times 1)} = \langle l_i \rangle_{(n \times n)} [K_{(n \times n)} s_{(n \times 1)} + K_{\text{imp}(n \times \text{nip})} s_{\text{imp}(n \times 1)}] \quad (6)$$

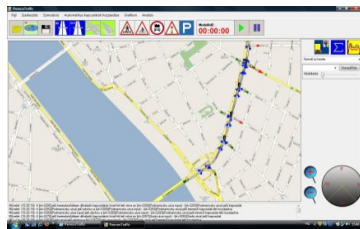
Ahol: K és K_{imp} kapcsolási mátrixok elemei a kapcsolási függvényeket és a sűrűségi állapotoktól függő függvényeket tartalmazzák.

A szoftver – hálózatok modellezésével – segítséget nyújt közúti közlekedési hálózatokon végbemenő járműáramlási folyamatok analízisében, továbbá már tervezési szakaszban az egész hálózatra kiterjedő hatástanulmány is készíthető. Szimulálhatók közlekedési balesetek, forgalomelterelések, forgalmirend-változások, jelzőlámpa programozási változások, parkoló létesítésének, megszüntetésének hatása, továbbá a hálózat új útszakasszal történő bővítése, egyes útszakaszok szélesítése, körforgalom építése stb. A program sajátossága, hogy az úthálózat tervezése, a szimulációt végző program, és az analízisre alkalmas felületeket egyesíti, így a felvett hálózat egyes elemei tetszőlegesen módosíthatók, ill. a hálózat bővíthető is.

A program hasonló témájú programokhoz képest egy egészen új hálózati gráfot alkalmaz [6]: a hálózat valódi alkotó elemei a sávszakaszok, tehát az egész hálózatban ténylegesen szakaszok kooperálnak szakaszokkal és ezek az elemek alkotják a hálózati gráf csúcsait. Az irányított gráf élei állapotfüggő dinamikus relációk, ugyanis a kapcsolatban álló, (kooperáló) csúcsok közötti kapcsolatok dinamikusak. (A kooperáció átadási, ill. befolyásoló jellegű lehet.) Ez a modell tehát, a hálózatot helyezte a központi helyre és az egész hálózatot vizsgálja a teljes kapcsolatrendszere mellett! Ebben önálló elemként már nem jelenik meg a „csomópont”, ugyanis minden csomópont működése része a teljes kapcsolatrendszernek! Nagy ereje a modellnek, hogy ezzel a technikával tetszőleges méretű hálózatok lemodellezhetőek.

A vizsgált tartományban a térkép alapján beszámozunk minden figyelembe veendő útszakaszt. A gráf éleinek beszámozása, geometriai és kapcsolati adatainak rögzítése egér művelettel történik és ezek az adatok egy fájlba kerülnek. Egyúttal automatikusan kiszámoljuk a szakaszok hosszát és a szakaszokon maximálisan megjeleníthető járműszámokat, egységjárműre számítva. A hálózatot leíró matematikai modellünk pozitív dinamikus rendszer. Figyelembe veszi a hálózat tartományon belüli belső és a tartományon kívüli külső kapcsolatait is.

5. MODELL FELVÉTEL



8. ábra a Pannon Traffic szimulációs program ablaka

Vizsgálatunk a körút Petőfi híd, pesti hídfőjétől északi irányba indulva a Nyugati térig terjed. A belső szakaszok alkotják a körút ezen teljes hosszát, az inputok valamint az outputok az erre a szakaszra dolgozó mellékutcák.

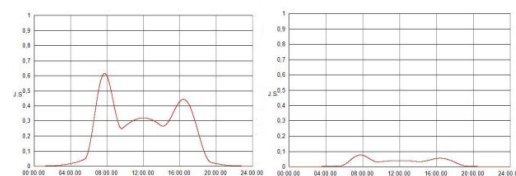
Ahogy a 8. ábrán látszik, zöld nyíl jelöli az input-, piros nyíl az output-, és kék nyíl a belső szakaszokat. A kapcsolati mátrix megadása a kereszteződések beállítása során történik, ezen kereszteződéseket sárga kör jelöli. A program során az összes csomópont felvételre került, valamint ezen csomópontok előtt 40 méterrel is kialakítottunk „kereszteződéseket”, ahol párhuzamos átadásokat tudunk megadni az utána következő csomópont lehajtási lehetőségeinek megfelelően.

A lámpás kereszteződések beállításához a FKF ZRt. Forgalomtechnikai Igazgatóság által az egyetem részére bocsátott jelenlegi lámpa-beállítási adatokat használtuk fel. Vizsgálatunk a hétköznapi reggeli csúcs- és a délelőtti forgalomra irányul, így az egyes csomópontoknál a 2. számú programot vettük figyelembe.

A helyszín bejárásra került, melyről videofelvétel is készült, valamint forgalomszámlálás történt az útvonalat érintő három legnagyobb csomópontban, a Ferenc körút – Üllői út csomópontban (Csomópont száma: 23/A), a Blaha Lujza téren (Cs. sz.: 111) és az Oktogonon (Cs. sz.: 203). A mért eredmények alapján került sor az input függvények megadására.

Inputfüggvények paramétereizhetősége: A modell adott városrészhez történő igazításakor mindenképpen szükséges, hogy a kódban történő változtatás nélkül skálázzuk, a mérési eredményekhez közelítsük a bemenő adatokat [5]. Ennek értelmében egyedi függvényeket vehetünk fel, melyeket hozzárendelhetjük az egyes input vagy outputszakaszokhoz, parkolókhöz.

A kiindulási, alap függvény azt veszi alapul, hogy egy átlagos úthálózaton háromszor figyelhető meg kiugró forgalomművekedés a nap folyamán. A reggeli ill. délutáni csúcsidőben, valamint egy kisebb az ebédidő táján. Ezt a jellegzetességet figyelembe véve a program felkínál egy folytonos sűrűség görbét, melyben az egyes paraméterek a felhasználó által változtathatók (időben és intenzitásban egyaránt). Ezen paraméterek változtatásával vettük fel a 9. ábrán látható az útvonalunkhoz igazodó sűrűségfüggvényeket. Ezen az ábrán látható főszakaszos bemeneti függvényt a Petőfi híd két inputszakaszára, illetve a mellékutszakaszos bemeneti függvényt különböző súlyozással a mellékutcákon lévő inputszakaszokra adtuk meg.



9. ábra Fő – és mellékutszakaszos bemeneti inputfüggvény

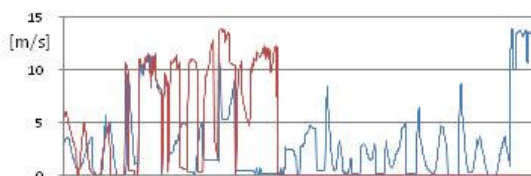
Az input sűrűségfüggvény 0 és 1 közötti értéket vehet fel, azaz 1 az adott szakasz sűrűsége, ha a járművek teljesen elfoglalják az adott szakaszt, vagyis ütközőtől-ütközőig állnak az autók. Ennek következtében a 0 érték jelentése az, hogy egyáltalán nincs jármű azon az adott szakaszon.

A három csomópontban mért értékek alapján megállapítható, hogy a forgalomáramlat jelentős része a kijelölt útvonalon halad, azaz erre a

szakaszra a mellékutcaíróról történő ráhordás mértéke megegyezik a mellékutcaíróra történő távozás mértékével. A szimuláció helyes futását igazolja, hogy a helyszín bejárása során mért menetidő megegyezett a szimulációval mért menetidővel, mely szerint 9 óra előtt 25 perc alatt lehet végigmenni a teljes útvonalon.

A szimuláció elindítását megelőzően a megszerkesztett hálózat bizonyos elemeit (input-, output-, és normál útsávok, valamint parkolók) kijelölhetjük nyomkövetésre [6]. Ekkor a rendszer egy bejegyzést tesz, és a szimuláció során a kijelölt objektumokon kialakuló járműsűrűség vagy sebesség (sávbeállítás ablakában kiválasztottak szerint) értékeket tárolja. Beállításától függően a szimuláció közben folyamatosan, vagy a lefutását követően jelenik meg az első kiválasztott objektum grafikonja egyben. Az egyes grafikonokat elmenthetjük, így lehetőséget kínálva a későbbi szimulációk során történő felhasználásra. Lényeges ugyanis, hogy a végzett változtatások hatása elemezhető legyen.

A szimulációba a forgalom alakulásával kapcsolatos bevitt adatok statisztikán alapulnak, így a kapott diagramok csak várható értéket adnak, például az α értékeket – amelyek a sáv váltás mértékét is jelentik – úgy adtuk meg, hogy a forgalom egyformán oszlik meg a két sávon, figyelembe véve a közbenső le és felhajtásokat. Míg a valóságban kialakulnak járműoszlopok két párhuzamos sávban úgy, hogy az egyiket akár teljesen telítik, míg a másik sávot szinte szabadon hagyják.



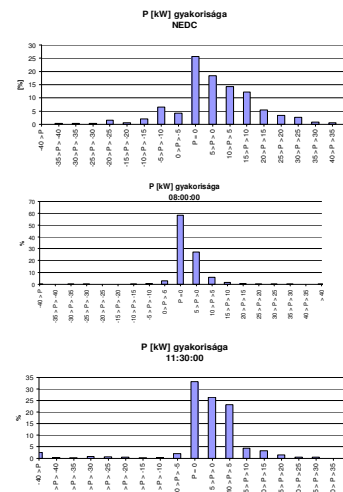
10. ábra Sebességdiagramok a reggeli csúcsban (kék), illetve normál időszakban (piros).

6. SEBESSÉGPROFILOK ÖSSZELETÉSE

A részletes forgalomszimulációból kapott sebességprofilokat összevetve a szabványos menetciklusokkal láthatjuk azok legfőbb hiányosságait. Az eltérések már a sebességprofilból közvetlenül számolható értékeken is észrevehetőek, ilyen például az átlagsebesség és az üresjáratban, állásban töltött idő. A megadott sebességértékekből számítható a gyorsulás, valamint a pillanatnyi sebességtől és gyorsulástól is függő vonóerő. Ennek az erőnek a létrehozása szükséges a hajtott kerék kerületén, a gumiabroncs-út kontaktfelületen az előírt mozgásállapot (sebesség, gyorsulás) megvalósításához. Az ehhez szükséges

teljesítményt megkapjuk a létrehozandó erő és a sebesség ismeretében. Ha összevetjük a különböző menetciklusokban az ugyanolyan tömegű (2000 kg) járműhöz – és azonos egyéb jellemzők – tartozó teljesítményigényeket, láthatjuk, hogy a szabványos NEDC ciklus városi szakaszán a kívánt maximum (~20 kW) jóval alatta marad a valós körülmények között kívánt teljesítmény értékének (~ 31 .. 34 kW). Természetesen az NEDC országúti szakaszán a sebesség növekedésével a teljesítményigény is megnő, azonban itt sem megy 50 kW fölé. Egy ilyen teljesítményű és tömegű járművel tehát a városi forgalom tempója többé-kevésbé tartható, bár kétségtelen, hogy teljesítmény-tartalékkal nem rendelkezik. A szükséges fékezési teljesítmény csúcserőértékei is meghaladják a szabványban kapott értékeket.

A 11. ábrán megvizsgálva a teljesítményigények gyakoriságát, azt tapasztalhatjuk, hogy a szabványos ciklusban egyenletesebb a teljesítményigény eloszlása, csak mintegy 25%-ban kívánunk zérus körüli igen kis teljesítményt, míg a csúcsforgalomban ez az arány majdnem eléri a 60%-ot.



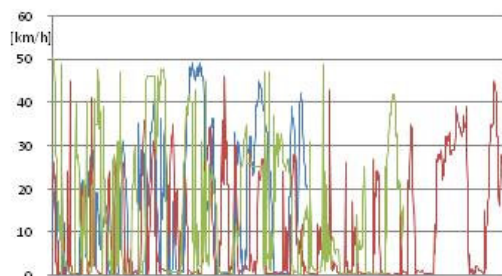
11. ábra A teljesítmény igények gyakorisága szabványos és forgalomszimulációval kapott menetciklusokban

Ennek jelentősége abban áll, hogy a $P = 0$ intervallum jelzi nekünk a megállások és elindulások számát, tehát egy ún. start-stop rendszer itt lehet hatásos. Ráadásul az igen kis teljesítményigények kielégítésekor a belsőégésű motor munkapontja kis terhelés és alacsony fordulatszám, vagyis a rossz effektív hatásfokú jellegmező-tartományba esik, tehát fajlagos fogyasztása magas lesz. Innen célszerű a munkapontot jobb hatásfokú tartományba eltolni, és a motor nagyobb teljesítményét más fedélzeti energiatárolók – hibrid hajtásrendszer esetén az akkumulátor – töltésére fordítani. A negatív

teljesítmény-tartományok a fékezési igényt jelölik. Negatív teljesítményigény mellett a mozgási energiát kell elvonni a járműtől, amely megfelelő technológiával visszanyerhető (rekuperáció). Pozitív teljesítményintervallumokban pedig energiát kell befektetni: ilyen a gyorsítási fázis vagy egy állandó sebesség tartásának fázisa. A teljesítménydiagramok tehát két igen fontos területet jelölnek ki számunkra, ahol a hajtáslánc hatékonysága növelhető. NEDC ciklusban a legnagyobb tüzelőanyag-megtakarítás hibrid-elektromos hajtásrendszer esetén a munkapont eltolással érhető el, ezt követi a rekuperációs energia és a start-stop rendszer alkalmazása.

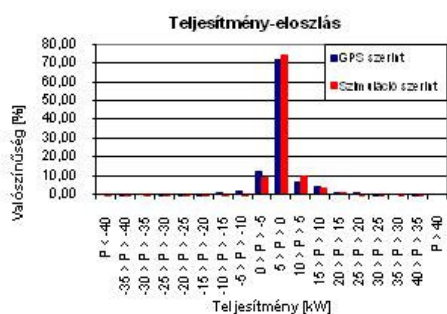
7. MODELL VALIDÁLÁSA

A modell validálása során a forgalomszimuláció eredményeként kapott és a helyszínen rögzített sebességprofilok (12.ábra) kerülnek összevetésre a rájuk jellemző sebesség-eloszlás, illetve teljesítmény-eloszlás függvényében.



12. ábra Egy-egy járműves mérés GPS készülékből kinyert sebességprofilja

Az útvonalat három különböző járművel, alkalmanként háromszor tettük meg, míg egy GPS készülék segítségével rögzítettük az aktuális pozíciót másodpercenként, ezen adatokból kinyertük a sebességprofilokat, amelyeket összehasonlítottuk a szimulációból kinyert sebességprofilokkal. A kapott eredményekből egy példát láthatunk a 13. ábrán teljesítmény-eloszlásra.



13. ábra Példa teljesítmény-eloszlásra

A modell validálása által megállapítható, hogy a szimulációból kinyert adatok közel azonos értéket adnak a valóságban mért adatokhoz képest. Ha összehasonlítjuk a százaléktérteket mind a kilenc mért és szimulált értékeknél, akkor a sebesség-eloszlás során átlagban 4,92 % az eltérés a kétféle eredmény között, míg a teljesítmény-eloszlásnál ez az érték még inkább bizonyítja a szimuláció hitelességét, mivel az eltérés 1,65 % átlagban. Tehát megállapítható, hogy a modellünk a valóságnak megfelelő közelítést ad, amelyek a BME Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont egyik projektjében további vizsgálatra kerültek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatásokat az OTKA CNK 78168 pályázat támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Alternatív hajtásrendszerek műszaki elemzése, Kutatási jelentés, BME Elektronikus Jármű és Járműirányítási Tudásközpont, Budapest 2009
- [2] Dr. Emőd István, Típusvizsgálatok személygépkocsikra, BME Gépjárművek Tanszék, Budapest, 2004
- [3] Dr. Emőd István, Hatósági károsanyag-kibocsátási vizsgálatok, BME Gépjárművek Tanszék, Budapest
- [4] Dr. Blága Csaba, Járműdiagnosztika, Miskolci Egyetem Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék, Miskolc, 2006
- [5] Péter T. – Stróbl A. – Fazekas S.: Szoftveres folyamatanalízis, nagyméretű közúti közlekedési hálózatok optimalizására. A jövő járműve, 2008/1–2
- [6] Péter T.: Szoftverfejlesztés a BME –en: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízisére és tervezésére. IFFK 2008. Konferencia
- [7] Péter T. – Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, 2006/1–2
- [8] Péter T. –Bokor J.: Nagyméretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa. A jövő járműve, 2007/1–2
- [9] Péter T., Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp. 2005. pp. 1–465. Magyar Mérnökakadémia Symposium.
- [10] Péter T.: Tetszőleges méretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezése speciális hálózati gráffal, amelyben a gráf csúcsai általánosított szakaszok, a gráf élei a csúcsok közötti kooperálót leíró dinamikus relációk. A jövő járműve, 2008/3–4