

Légeköri Emisszió Vezérelt Forgalmiszervezés

Molnár András*

*Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai kar; e-mail: molnar@uni-obuda.hu

Absztrakt: A felszíni közlekedés terén rövid távon teljes bizonyossággal számolni kell a fosszilis üzemanyagokkal hajtott gépjárművek károsanyag kibocsájtásával. Az elektromos hajtású járművek elterjedése csak fokozatos lehet, így a gépjárművek légszennyezése is csak fokozatosan csökkenhet. Figyelembe véve a felszíni közlekedés résztvevőinek fokozódó számát, különösen a nagyvárosokban és környezetükben elengedhetetlen a levegő szennyezésének csökkentése. Mivel a szennyező anyagok egy jelentős részét épp a gépjárművek termelik, hatékony megoldásokat kell keresni az általuk kibocsájtott káros anyagok csökkentésére. A megoldáskeresés során figyelembe kell venni mind a társadalmi, mind az egyéni igényeket, így a drasztikus tiltás biztosan csak végső megoldásként kerülhet számításba. Hatékony, a légeköri összetevők folyamatos elemzése alapján ütemezett forgalmiszervezéssel az emisszió mértéke csökkenthető.

1. BEVEZETÉS

Noha az elektromos meghajtású gépjárművek egyre gyakrabban láthatók a közutakon, részarányuk a fosszilis tüzelőanyaggal hajtott gépjárművekhez viszonyítva még sokáig alul marad. Az elektromos hajtás oly mértékű térhódítása amely már a légeköri szennyezők mérése során is érzékelhető károsanyag tartalom csökkenéssel jár, csak fokozatosan és hosszú idő alatt valószínű. Ennek összetett okai között szerepel, hogy az elektromos energia jelenlegi technológiai szinten lényegesen alacsonyabb energiasűrűséggel tárolható, mint a fosszilis üzemanyagok esetében. További elterjedést nehezítő tényező az elektromos járművek ára és a várható élettartam körüli bizonytalanság.

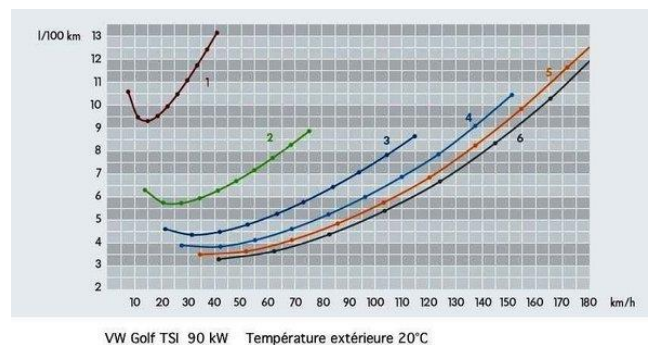
Érdekes megjegyezni, hogy a vasúti forgalomban is igen lassan terjedt el az elektromos hajtás annak ellenére, hogy csupán technológiai szempontokat figyelembe véve a vasútvonalon az energiaellátás biztosítása lényegesen egyszerűbb feladat, mint a felhasználni kívánt energia akkumulátorokban történő tárolása. Ennek ellenére még napjainkban is található Magyarországon elektromos ellátottsággal nem rendelkező vasútvonal.

Technológiai és gazdasági aspektusból vizsgálva a belsőégésű motorral szerelt gépjárműveket a gyártók még sokáig a kínálatukban fogják szerepeltetni. Részben azért mert a már meglévő gyártósorokon fajlagosan alacsony költséggel állíthatók elő a hagyományos motorok, részben pedig az elektromos járművek tapasztalati élettartama csak évekkel később fog a vásárlók körében is letisztulni.

Az előzőek alapján feltétlenül keresni kell a belsőégésű motorok által kibocsájtott károsanyagok csökkentésének lehetőségeit.

2. KÁROSANYAG KIBOCSÁJTÁS FORGALMI OKAI

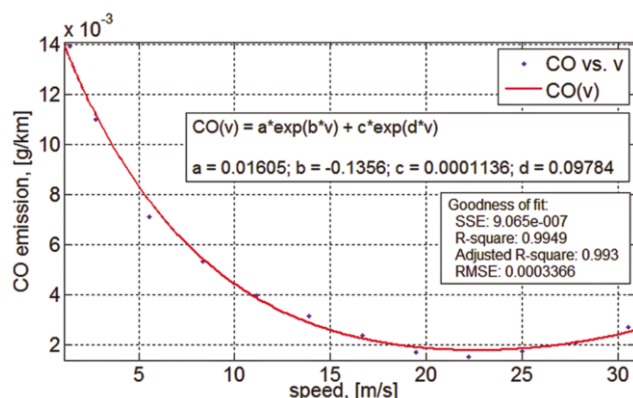
A belsőégésű motorok működéséből fakadóan a teljes fordulatszám tartományra vonatkoztatva ismert a motorok teljesítmény, nyomtaték és fogyasztás optima. Nem részletezve az összefüggéseket belátható, hogy egy belsőégésű motorral ellátott gépjármű sebesség függő fogyasztásának is létezik optima. Az 1. ábrán egy VW Golf, 6 sebességes személygépkocsi fogyasztási görbéi láthatók a sebesség függvényében [1].



1. ábra, egy 5 sebességes benzinmotorral hajtott gépjármű jellemző fogyasztás/sebesség diagramja [1]

Az 1. ábrán látható, hogy a kis sebességű közlekedés (tipikusan a torlódások során létrejövő „lépésben” történő haladás) jelentős fogyasztásnövekedéssel, ezáltal jelentős károsanyag kibocsájtással jár. Érdekes megjegyezni, hogy az ábrán (1. ábra) látható fogyasztási adatok alapján optimális körülmények közt a „forgalmi dugóban” való közlekedés közel négyszeres fogyasztásnövekedést okozhat ami legalább ekkora károsanyag kibocsájtás növekedést okoz. Ráadásul a károsanyag emisszió kis területre, illetve térfogatra koncentrálódik éppen a lassú haladás okán ami az adott területet fokozottan terheli.

A lassú haladáshoz tartozó rossz hatásfokhoz további emisszió-fokozó káros hatások is kapcsolódnak. A motorhoz tartozó füstgáz-vezető rendszer nem tud kellően felmelegedni, így a távozó füstgázok mind a katalizátorokat, részecskeszűrőket, mind a füstgáz-vezető teljes rendszerét fokozott koromlerakódással károsítja. Mindez végső soron további károsanyag kibocsájtással párosul. Egy tanulmány szerint [2] amely már egységes rendszerként kezeli a gépjárművet több károsanyag kibocsájtásra vonatkozó (NO, NO₂, NO_x, CH és korom) diagramot mutat be. Ezek közül a 2. ábra a CO kibocsájtást szemlélteti a gépjármű haladási sebességének függvényében.

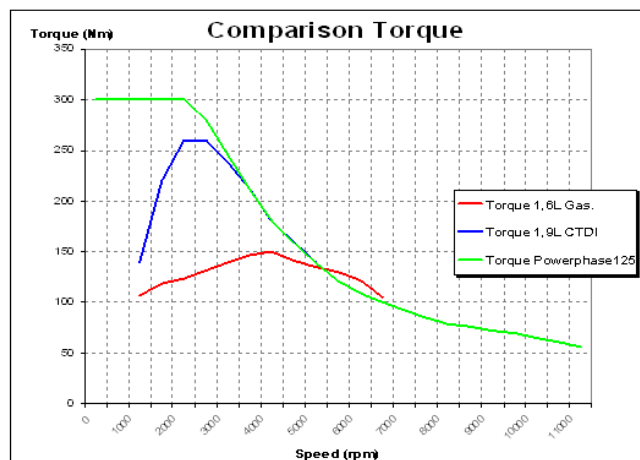


2. ábra, egy benzin üzemű gépjármű CO kibocsájtása a jármű sebességének függvényében [2]

Az ábrán jól látható, hogy vizsgált járműnek megközelítőleg 22 m/s sebesség körül a legkisebb a CO kibocsájtása. Jól látható, hogy az optimális sebesség alatt a CO emisszió drasztikusan megnövekszik. Hasonló jellegű görbéket kapunk a többi szennyező komponens esetében is. A diagramból kiolvasható, hogy a forgalmi dugókban ahol a haladási sebesség igen alacsony, a károsanyag kibocsájtás a belsőégésű motorokkal hajtott járművek esetében fokozott.

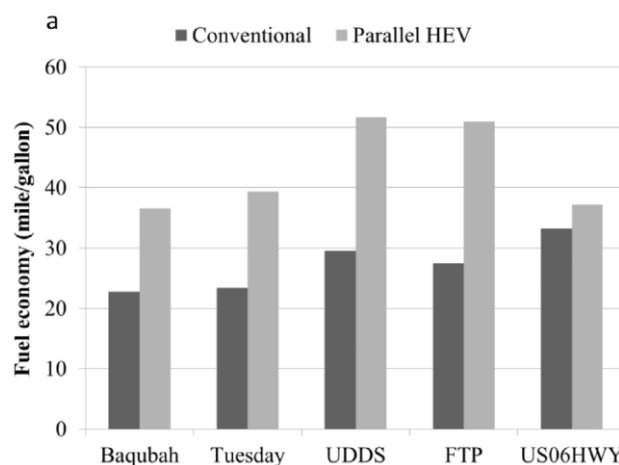
A szakaszos előrehaladás gyakori fékezéseket és gyorsításokat igényel. Ennek legrosszabb formája a rendszeres megállás és elindulás. A fékezéssel energiát pazarolunk, az indulással pedig fokozott mennyiségű energiát használunk el. Ez utóbbi esetben nem csak a jármű gyorsításához szükséges többlet energia szükséges, hanem a belsőégésű motorokra (különösen a kis teljesítményű benzin üzemű motorok esetében) jellemzően az induláshoz kis „gázfröccsre” van szükség, hogy a kellő nyomaték rendelkezésre álljon. Ez a gázfröccs szükségszerűen mindig nagyobb az éppen szükségesnél, így további többletfogyasztást okoz. A 3. ábra alapján jól megérthető, hogy indulásnál miért van szükség a benzinmotoros járművek esetében úgynevezett gázfröccsre. A diagram alapján látható, hogy a jelenleg legerőteljesebb személygépjármű motorok esetében (szikragyújtású benzinmotor) a jármű mozgásba hozása szempontjából a legkedvezőtlenebb. E tekintetben a dízel motorok már alacsony fordulatszámon is biztosított magas nyomatéka sokkal kedvezőbb indulási tulajdonságokkal rendelkezik. Az is jól látható, hogy az elektromotor indító nyomatéka a legkedvezőbb, így szinte

kézenfekvő a benzin-elektromos hibrid rendszerek jelen technológiai szint mellett az egyik leghatékonyabb hajtási mód.



3. ábra, elektromos, dízel és benzinmotor nyomatéki görbéi a fordulatszám függvényében [3]

Valójában a hibrid konstrukciók (elektromos-belső égésű motor kombinációval ellátott hajtás) egyik fogyasztáscsökkentő oka is az, hogy amennyiben rendelkezik kellő mennyiségű elektromos energiával a legrosszabb hatásfokú belsőégésű üzemi helyett elektromos üzemre vált a jármű, majd kedvezőbb üzemi paraméterek esetén újra belsőégésű üzemre kapcsolva tölti az akkumulátorokat és hajtja a járművet. Többek között ez a magyarázata annak, hogy a hibrid járművek elsősorban a városi közlekedésben bizonyulnak hatékonyaknak.



4. ábra, egy 5 sebességes benzinmotorral hajtott gépjármű jellemző fogyasztás/sebesség diagramja [4]

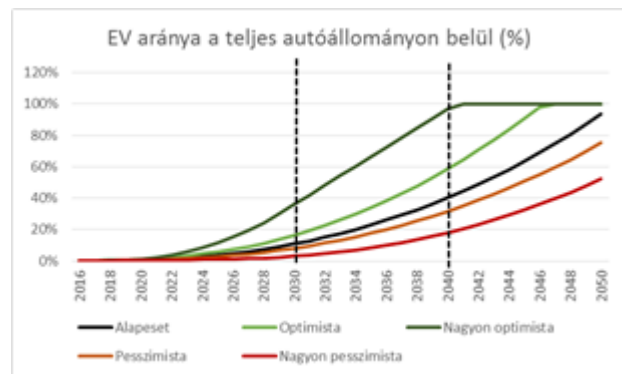
A 3. ábrán látható egy tanulmány szerint [4], hogy a hibrid járművek hatékonysága nagy sebességű egyenes haladás esetén (az ábrán US06HWY mérés világosszürke oszlopa) kisebb, mint a városi közlekedésben (az ábrán Baqubah város mérés világosszürke oszlopa) mérhető hatékonyság.

Elmondható, hogy a forgalom során a lokális károsanyag kibocsátás szempontjából a zéró emissziós elektromos hajtás a legkedvezőbb. Jelen technológiai szint mellett azonban ezek a járművek sem hatótávban, sem bekerülési árban nem versenyképesek a hagyományos technológiát képviselő belsőégésű motorokkal szerelt gépjárművekkel. Noha a hibrid konstrukciók csökkentik az emissziót miközben biztosítják a nagy hatótávolságot, magas árak nem teszi lehetővé a gyors elterjedésüket. Érdemes megjegyezni, hogy a hibrid hajtás fejlődése mellett a tisztán elektromos hajtású járművek fejlődése is felgyorsult, így reális alternatívájává válhat a tisztán elektromos gépjármű a hibrid gépjárműveknek. Amennyiben ez a feltételezés idővel beigazolódik, úgy a hibrid járművek kiszorulhatnak a gépjármű piacról.

3. ZÉRÓ EMISSZIÓS SZEMÉLYGÉPJÁRMŰVEK ELTERJEDÉSE

Kézenfekvő megoldásnak látszik a légszennyezés csökkentésének a belsőégésű motorokkal szerelt gépjárművek leváltása elektromos hajtású gépjárművekre. Jelen tendenciákat figyelembe véve (elektromos járművek beszerzési árának csökkenés, hatótávolságuk növekedése, alacsony fenttartási költségeik) vélhetően az elektromos járművek térhódítása, illetve a hagyományos járművek elektromosra váltása meg fog történni. A kérdés az, hogy a járműállomány cseréje mennyi időn belül fog bekövetkezni?

Becslést a jövőre vonatkoztatva igen nehéz adni. Számos elemzés létezik melyek igen nagy szórással prognosztizálják az elektromos hajtású gépjárművek elterjedésének százalékos arányát.

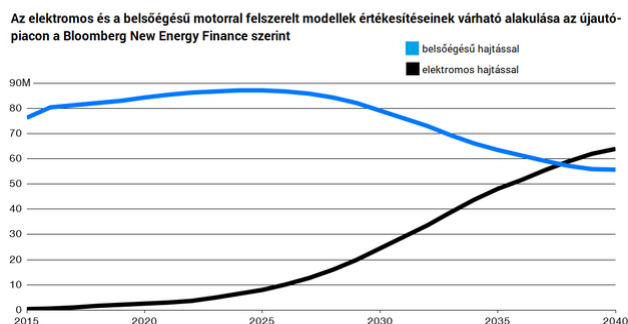


5. ábra, szimulációs becslés az elektromos hajtással rendelkező gépjárművek elterjedésére [5]

Az 5. ábrán látható szimulációs becslések azt mutatják, hogy a használatban lévő személygépjárművek 50%-os elektromos hajtású arányra történő növekedése legkorábban 2032-re várható, de elhúzódhat akár 2050-ig. A szerző szimulációja alapján alapesetnek nevezett görbe szerint a járművek 50%-a még 2040-ben is belsőégésű motorral fog rendelkezni. Ráadásul a szimuláció a hibrid meghajtású járműveket is elektromos kategóriába sorolja, ami károsanyag emisszió szempontjából csak részleges megoldásnak tekinthető. Az elemzés alapján minimálisan 14 év múlva várható, hogy az elektromos hajtás elterjedésének köszönhetően szignifikáns

gépjárművek okozta emissziócsökkenés lesz kimutatható. Ez az idő azonban 20-30 évre is növekedhet.

Egy másik elemzés [6] az elektromos hajtású gépjárművek és a hagyományos belsőégésű motorokkal szerelt gépjárművek eladási prognózisa alapján következtet az elektromos autók elterjedésére.



6. ábra, becslés az elektromos hajtással rendelkező gépjárművek értékesítési trendjére [6]

A 6. brán látható, hogy várhatóan a belsőégésű motorokat alkalmazó járművek eladási volumene még 2025-ig enyhén növekvő tendenciát fog mutatni. Ezzel párhuzamosan az elektromos hajtással rendelkező gépjárművek értékesítési volumene 2025 után fog viszonylag meredeken emelkedni. A prognózis szerint közel azonos értékesítési volument a két meghajtástípus esetében 2038 körül várható. Ekkor még az utakon várhatóan több, mint 50% lesz a belsőégésű motorral hajtott gépjárművek aránya, mivel a régebbi járművek is üzemen lesznek.

Természetesen sok elemzés olvasható, de a fent ismertetett két, egymástól független prognózis hasonló évszámokat ismertet az 50%-os elektromos hajtás eléréséig. Ennek alapján indokolt a gépjárművek által okozott légköri szennyezés csökkentésének egyéb módjait feltárni.

4. VALÓSÍDEJŰ EMISSZIÓMÉRÉS TEREPI KÖRNYEZETBEN

A valós emissziós volumen feltérképezése érdekében szükséges a részletes, területfüggő szennyezőanyag koncentráció meghatározása. Mivel kellő sűrűséggel még nincsenek telepítve gázszenzorok egyetlen nagyobb közlekedési területen sem (ezek jellemzően egy-egy csomóponton vagy kibővített meteorológiai állomáson találhatóak csak meg), mobil mérőkészülékkel lehetett egy teszterületen felmérést végezni.

Az általunk kifejlesztett intelligens mérő modul (7. ábra) alkalmas az adott feladat ellátására. Főbb jellemzői: tartalmaz a levegőben mérni kívánt szennyező, vagy szennyezők érzékelőit, a mért adatok előfeldolgozását, átmeneti tárolását biztosító mikrokontrollert valamint az adatok valósídejű továbbítását biztosító MODEM egységet. A mérő modul a térbeli pozíciót, a légnyomásból számított magasságot és sebességet közvetlenül GPS és nyomásmérő szenzoroktól kapja és a szenzorok által mért adatokkal

egyesítve a egy speciális struktúrájú adatsort állít elő. Jelenleg a modul az alábbi légköri alkotóelemek, illetve szennyezők mérését végzi:

- Oxigén (O₂)
- Ózon (O₃)
- Szén-dioxid (CO₂)
- Szén-monoxid (CO)
- Nitrogén-dioxid (NO₂)
- Nitrogén-monoxid (NO)
- hőmérséklet
- vízpára
- szálló por
- gamma sugárzás
- UVA sugárzás
- UVB sugárzás

A mérőmodul további 10 szenzor fogadására képes, illetve a gázérzékelők cseréjével más gázok mérése is megvalósítható. Ez a nagyfokú szabadság széleskörű felhasználást biztosít.

Mivel a modul minden mért összetevőhöz automatikusan hozzárendeli a mérés pillanatának földrajzi koordinátáját és idejét, az adatok alkalmasak a mért szennyezők térbeli eloszlásának elemzésére.



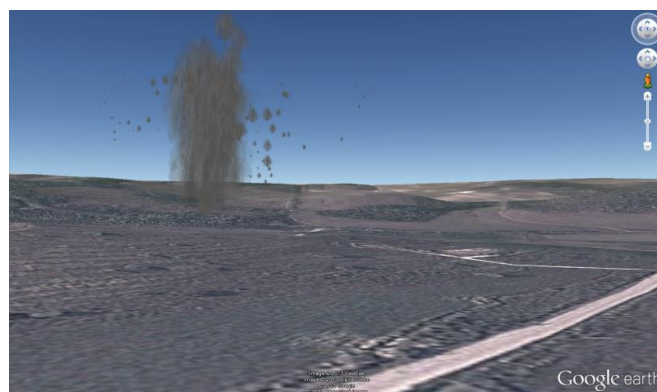
7. ábra, intelligens mérőmodul a gázszenzorok felől nézve

Annak érdekében, hogy megállapíthassuk, hogy a kifejlesztett mérőrendszer milyen mértékben képes az egyes mért komponensek koncentrációjának térbeli eloszlását meghatározni kísérleti méréseket végeztünk. A kísérletek során az eszközt egy kisméretű, autonóm repülésre alkalmas drónra szereltük (8. ábra). A drón a vizsgált emisszióforrás felett egy előre meghatározott nyomvonalon pásztázta végig a terepet.

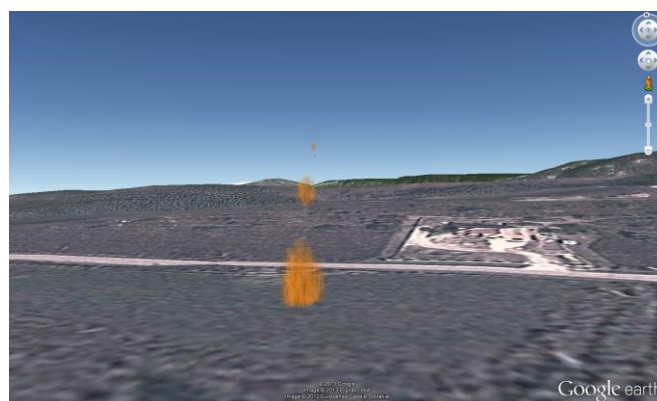


8. ábra, a drónra szerelt mérőmodul

A pásztázás több magassági szinten ismétlődve történt. A mért adatokat a rendszer a fedélzeten egy SD kártyára rögzítette. Az adatokat leszállás után, „off-line” módon kerültek kiértékelésre. A kísérletek során vizsgáltunk CO és NO forrás környezetében történő gázeloszlást. Mivel az egymáshoz tartozó adatok valós földrajzi koordinátákat is tartalmaznak az adatok megjelenítése térképre vetítve is lehetséges. Ezt az ábrázolásmódot láthatjuk a 9-10-ik ábrákon.



9. ábra, CO gázfelhő vizualizációja egy kísérleti mérés adatainak felhasználásával



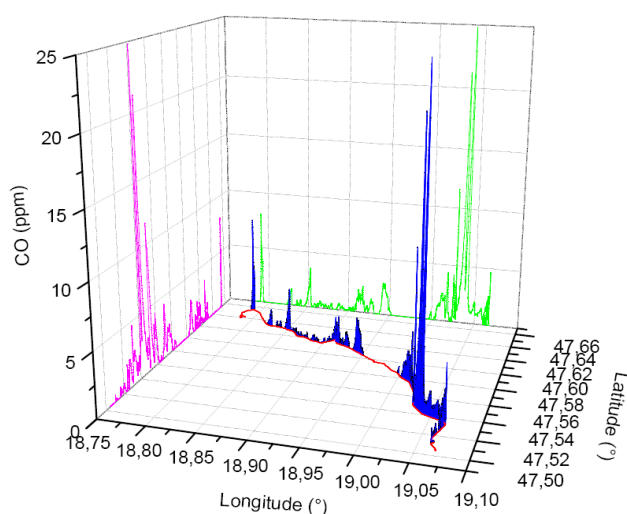
10. ábra, NO gázfelhő vizualizációja egy kísérleti mérés adatainak felhasználásával

Mindkét megjelenítés esetében (9. és 10. ábrák) a gázfelhő színezése mesterséges. A CO gáz láthatatlan, az NO gáz ugyan látható lenne, de a mért koncentrációja annyira alacsony volt, hogy szemmel a gázfelhő nem volt látható. A kísérlet során ismert volt az emisszióforrás pontos helye, így a feldolgozott és térképre vetített adatok pozícióját is lehetett ellenőrizni. A kimutatott gázfelhő középpontja minden esetben megegyezett az emisszióforrás pozíciójával miközben ezt az adatot a feldolgozás során nem használtuk fel.

A kísérleti mérések igazolták, hogy a mért szennyezők térbeli eloszlása jól mérhető és megjeleníthető.

5. VALÓS KÖZÚTI FORGALOMBAN VÉGZETT EMISSZIÓMÉRÉS

Mivel a terepi kísérletek megfelelő eredménnyel zárultak, a mérőegységet egy személygépjárműre felszerelve közúti forgalomban is végeztünk méréseket. Ennek célja az volt, hogy megnézzük kimutatható-e szignifikáns szennyeztség különbség torlódási szakaszok és folyamatos haladást biztosító szakaszok között. Annak érdekében, hogy a mérések során biztosan meg lehessen vizsgálni az említett két forgalmi szituációhoz köthető méréseket, olyan útvonalakat határoztunk meg melyeknél több, nagy forgalmú lámpás kereszteződés volt ahol legalább 30 mp várakozási idők voltak de tartalmaztak hosszabb, legalább 50 km/h folyamatos haladási sebességet biztosító szakaszokkal is. A méréseket a főváros nagy forgalmú útjain valamint az elővárosi útszakaszokon végeztük. Ennek a mérési sorozatnak egy útvonalán mért CO koncentráció alakulását szemlélteti a 11. ábra.



11. ábra, CO emisszió alakulása egy hosszabb közúti szakaszon mérve

A mérést Budapesten a Váci út-Árpád híd-Vörösvári út-10-es főút útvonalon végeztük. A mérés időpontjában a városban nagy volt a forgalom és különösen a Váci út-Árpád híd és a 10 főút budapesti szakaszán jelentős torlódások voltak. Ugyanakkor a 10-es főút városon kívüli szakasz jól autózható volt. A 3D megjelenítéssel jól láthatóvá vált a torlódással terhelt szakaszok jelentős szennyeztsége, illetve szignifikáns szennyeztségsökkenés látható az elővárosi szakaszon. Még jobban értelmezhető a mért CO koncentráció 3D térképre vetítéssel (12. ábra). Itt egyértelműen beazonosíthatók azok a szakaszok ahol nagy volt a CO koncentráció. Érdemes megjegyezni, hogy kiemelkedő emissziós értékeket közlekedési csomópontokon, illetve csak lassú haladást lehetővé tévő (jellemzően 15-25 km/h) szakaszokon mértünk. Ahol a forgalom felgyorsult, ott az emisszió értéke jól láthatóan lecsökkent. Ez megfigyelhető városi szakaszon és városon kívüli szakaszon egyaránt. Észak-nyugatra haladva a mérési útvonalon áthaladtunk Pilisvörösváron és Piliscsabán és Pilisjászfalun. A 11. ábrán megfigyelhető három nagyobb koncentrációt mutató szakasz

ami megfelel az imént felsorolt három településnek. A nyomvonalon jól láthatók ezen településeken mért magasabb koncentráció értékek. Természetesen az is megfigyelhető, hogy a budapesti szakaszhoz képest egyértelműen alacsonyabb a szennyeztség mértéke.



12. ábra, CO emisszió alakulása egy hosszabb közúti szakaszon 3D térképen ábrázolva

6. EMISSZIÓ VEZÉRELT FORGALOMSZABÁLYOZÁS

A forgalomban végzett mérések azt mutatják, hogy egy területre vonatkoztatott gépjárművek által kibocsátott szennyezés mértéke erősen függ a járművek haladási sebességétől. Álló vagy lassan haladó járművek esetében a terület terhelése jelentősen megnövekszik a gyorsan haladó járművekkel terhelt területtel szemben.

Noha már léteznek és gyakorlatban is több helyen alkalmazzák a dinamikus forgalomszabályozást, ezek jellemzően az utakra kihelyezett forgalomfigyelő kamerák adatai alapján üzemelnek.

Egy lehetséges szennyezéscsökkentő módszer lehet, ha a város, vagy egy kijelölt nagyobb forgalmi terület csomópontjain telepített légszennyeztség mérők adatai alapján történne a dinamikus forgalomszabályozás. Amennyiben az úthálózat képes elvezetni nagyobb forgalmat, úgy a fokozódó légszennyezés esetén növelni kell a szakasz áteresztő képességét. Amennyiben erre már nincs mód, dinamikus forgalomterelésekkel lehet csökkenteni az adott területen a torlódást. A módszer kissé hasonlít a forgalmi torlódásokat figyelő navigációs rendszerekhez melyek haladás közben ajánlanak alternatív útvonalakat jelezve a várható menetidő megtakarítást ha a távolság szerint ugyan optimális de torlódással terhelt útszakaszt hosszabb de torlódás mentes kerülőúttal váltjuk ki.

Az emisszió vezérelt forgalom szabályozás végső soron azt eredményezi, hogy a forgalomban résztvevő járművet

folyamatosan mozgásban kell tartani. Ez kedvez a jármű műszaki állapotának mivel a jobb hatásfokon üzemelő motor kevésbé amortizálódik, illetve a füstgázvezető rendszer sem koszolódik el. Ezzel együtt a mozgásban lévő jármű határozott mértékben kedvez a környezetnek, mivel alacsonyabb emissziós értékeket mutat az alapjárton vagy annak közelében üzemelő járművekhez képest.

Nem elhanyagolható emocionális hatás az sem, hogy a folyamatosan haladó jármű vezetője kevésbé ingerült így a koccanásos balesetek száma is csökkenhet.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://www.quora.com/Whats-the-relationship-between-the-speed-of-a-vehicle-its-fuel-consumption>
- [2] Raimundas Junevičius, Marijonas Bogdevičius, Ádám Török (2011). Modelling of internal combustion engines' emission through the use of traffic flow mathematical models in: *Transport 2011* Volume 26(3): 271–278; doi:10.3846/16484142.2011.621978
- [3] Roland Romano Vienna (2010). Website Renewable Energy Electric Vehicles; <http://loudspeaker.klack.org/seite4.html>
- [4] AhmedAl-Samari (2016). Study of emissions and fuel economy for parallel hybrid versus conventional vehicles on real world and standard driving cycles in: *Alexandria Engineering Journal* Volume 56, Issue 4, December 2017, Pages 721-726
- [5] Horváth Ágnes (2017). Mikor szabadulhatunk meg a kipufogógázoktól? in: *Chief Economist*, 2017.08.14.; https://gurulohordo.blog.hu/2017/08/14/mikor_szabadulhatunk_meg_a_kipufogogazoktol
- [6] Mindent átírnak az elektromos autók - ki nem találnád, hol várják a legnagyobb változást in: *Portfolio*, 2017. július 21.; <https://www.portfolio.hu/vallalatok/mindent-atirnak-az-elektromos-autok-ki-nem-talalnad-hol-varjak-a-legnagyobb-valtozast.257153.html>