

Egyéni gépjármű közlekedés CO₂ kibocsátásának becslése

Török Ádám

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék,
1111 Budapest Sztoczek u. 2. (Tel: +36-1-463-1054; e-mail: atorok@kgazd.bme.hu).

Abstrakt: Cikkem célja bemutatni egy becslési eljárást, amely során a makroszkopikus statisztikus adatok alapján becsülhető az egyéni gépjármű (mikroszkopikus) emisszió. A bemutatott eljárás gyorsan, kis számítási igénnyel megfelelő pontosságot nyújt. Segítségével könnyebben elemezhetőek a közlekedéspolitikai és környezetgazdasági célkitűzések is.

1. BEVEZETÉS

A Monte-Carlo-módszer egy olyan sztochasztikus szimulációs módszer, amely számítástechnikai eszközök segítségével állítja elő egy adott kísérlet végeredményét. Alkalmazásának első lépéseként a szóban forgó problémához olyan sztochasztikus modellt kell szerkeszteni, amelynek paraméterei azonosak a problémában szereplő ismeretlen mennyiséggel. Ezután megfigyeléseket végzünk a sztochasztikus modellre vonatkozóan és a kapott eredményből statisztikai becsléssel határozzuk meg a kérdéses paramétereket, ezáltal adva becslést a keresett mennyiségre. A módszer nem alkalmas nem egyensúlyi, időben változó rendszerek vizsgálatára, csak az egyensúlyban levő rendszerek statikus jellemzői határozhatóak meg.

Példának okáért a keresett (\bar{x}) átlagos futásteljesítmény megegyezik a ζ diszkrét valószínűségi vektorváltozó várható értékével (a vektor mérete a vizsgált gépjárműállomány darabszámától függ, a vektor elemei a gépjárművek futásteljesítményei mint diszkrét valószínűségi változók), a $M(\zeta_i)$ -vel. Ekkor az (\bar{x}) átlagos futásteljesítmény közelítő meghatározása Monte-Carlo módszerrel a Bernoulli nagyszámok törvényén alapul (1):

$$P(\bar{x} = M(\zeta_i))=1 \quad (1)$$

A Monte-Carlo-módszerrel történő szimuláció során fellépő elvi δ hiba nagyságrendje (2):

$$\delta \approx \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

A modellezési feladatnak Monte-Carlo módszerrel való közelítésénél fellépő δ hiba csökkentéséhez a kísérletek N számát jelentősen kell növelni, ami pedig a számítási idő növekedéséhez vezet.(Sreijger, 1965)

2. METODIKA

Monte-Carlo-módszerek összefoglaló névvel illetünk számos eljárást, technikát, melyek közös jellemzője, hogy véletlenszám-sorozatok generálásán alapulnak. A módszerek népszerűségének oka rendkívül egyszerű: analitikusan követhetetlen feladatok eredményeit vagyunk képesek tetszőleges közelítéssel meghatározni velük. A robbanásszerű elterjedéshez a matematikai alapok lefektetésén kívül szükség volt egy másik összetevőre, a véletlen értékeket generáló, a számításokat gyorsan elvégző számítógépekre. A véletlen események felhasználásának ötlete nem új a statisztikában, már a számítógépek megjelenése előtt is voltak alkalmazásai, elég csak a Buffon-féle tüproblémára (π közelítése a padlóra dobott tűk segítségével a XVIII. században) vagy a Gossett nevéhez fűződő, t-eloszlásról szóló cikkre (Student, 1908) utalni. A véletlen értékek felhasználásának történetéről, a módszerek fejlődéséről az érdeklődő Olvasónak például (Robert, Casella, 2011) nyújt kimerítő irodalomjegyzéket. A valós statisztikai alkalmazások felsorolása azok sokszínűsége miatt szinte lehetetlen. A módszer a bayesi statisztikában (Hunyadi, 2011) is igen elterjedt, ahol a feladat összetett, sokdimenziós sűrűségfüggvények (posztteriorok) leírása, amely szinte minden esetben integrálok meghatározását jelenti a gyakorlatban. Egy másik nagy felhasználási terület a sztochasztikus optimalizáció. (Kehl, 2012)

Cikkem célja a CO₂ kibocsátás becslése egy vizsgálati településen, melyhez az alábbi modellt alkalmaztam (3):

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n (\Phi_i \cdot \frac{\rho_i}{100} \cdot E_i) \quad (3)$$

, ahol:

ε : éves CO₂ kibocsátás [gCO₂/év]

Φ : futásteljesítmény [km/év]

ρ : tüzelőanyag fogyasztás [l/100 km]

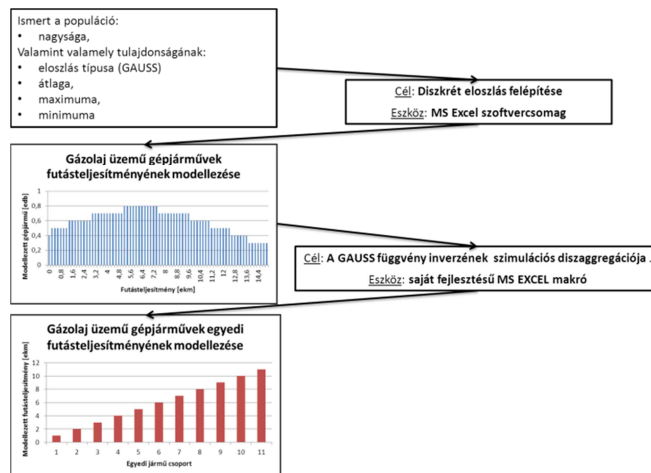
E : tüzelőanyag elégetése során keletkező CO₂ [gCO₂/ltüza]
(Török, 2009; Zöldy, 2011; Bereczky 2012)

n : a vizsgált járműállomány darabszáma

Mivel az egyéni futásteljesítmény (Φ) és az egyéni tüzelőanyag fogyasztás (ρ) nem ismert, csak a makroszkopikus átlag a hazai statisztikai adatok alapján, ezért Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával határoztam meg a keresett paramétereket. Ehhez azonban néhány egyszerűsítéssel éltem:

- (I) A vizsgált városban regisztrált egyéni személygépjármű állomány közel 46 000 gépjárműből állt 2010-ben. Ezért a vizsgálat során 1000 gépjárműegyedből álló - futásteljesítmény vagy tüzelőanyag fogyasztás szempontjából - homogén csoportot alkottam.
- (II) A gépjárművek tüzelőanyag fogyasztásánál feltételeztem, hogy a benzinüzemű személygépjárművek tüzelőanyag fogyasztása Gauss-eloszlást követ és várható értéke 9,5 liter/100 km, amíg a gázolajüzemű gépjárművek fogyasztása szintén Gauss eloszlású, de várható értéke kisebb, 7,6 liter/100 km a vizsgálati évben. (Ntziachristos et al., 2012; 60/1992. (IV. 1.) Korm. rendelet)
- (III) Az egyéni közúti személyközlekedésben résztvevő gépjárműveknél a dízelüzeműek arányát az országos átlaggal megegyezőnek vettem ($\beta=0,25$) (Emőd, Török, 2010)
- (IV) A városi futásteljesítmény adat meghatározásához a 2010. évi benzin felhasználást vettem alapul (2010-ben 1 368 041 444 liter benzin fogyott el, melyet 2 308 195 benzin üzemű személygépjárműben égettek el). Az átlagos futásteljesítmény az országban 6250 km lett. A gázolaj- és benzinüzemű személygépjárművek futásteljesítményét a vizsgálati időszakban megegyezőnek és mindkét esetben normál eloszlásúnak tekintettem. (www.petroleum.hu)

(I) miatt ismert a populáció teljes nagysága. (II) miatt ismert a populáció két klaszterének tüzelőanyag fogyasztási várhatóértéke, átlaga (IV) miatt a futásteljesítmény várható értéke is ismert. Ezek alapján végeztem el a Monte-Carlo szimulációt külön a futásteljesítményre és külön a tüzelőanyag fogyasztásra, benzin és gázolaj esetében is (1. ábra):

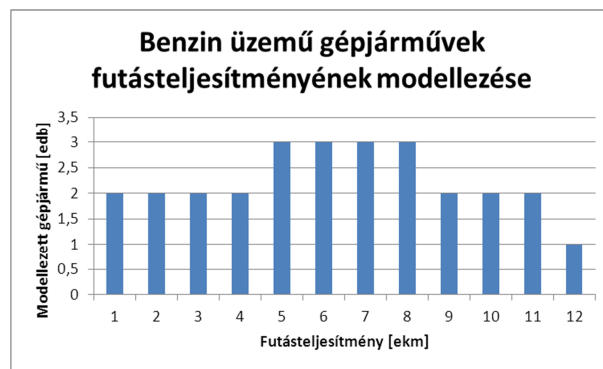


1. ábra A modellezési eljárás lépéseinek összefoglaló bemutatása

3. EREDMÉNYEK

A számítás lépéseinek részletes eredményeit csak a benzinüzemű klaszter esetében mutatom be, ennek analógiájára készült el a gázolajüzemű klaszter modellezése is.

Először Monte-Carlo szimulációval modelleztem az egyéni gépjárművek futásteljesítményét a benzinüzemű klaszter esetében (2. ábra):



2. ábra Egyéni benzinüzemű közúti gépjárművek futásteljesítményének modellezése

Látható, hogy 4000 gépjárműnek van relatív kicsi futásteljesítménye, melyek potenciálisan megfelelő közlekedési vagy gazdasági eszközökkel közforgalmú közösségi közlekedésre terelhetők (Szendrő, 2011).

A Monte-Carlo szimuláció segítségével gépjármű egyedekre bontottam szét a benzinüzemű gépjárművek futásteljesítményét, mint diszkrét valószínűségi változót (3. ábra):



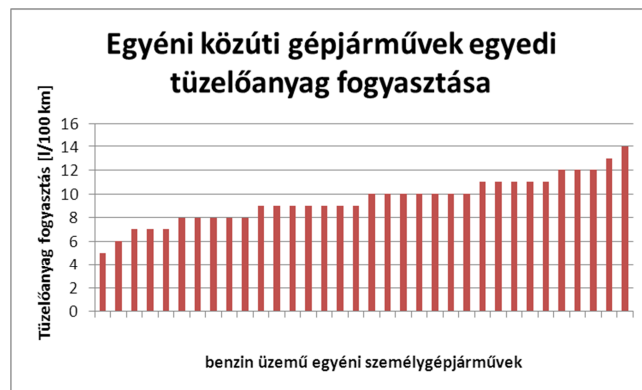
3. ábra Egyéni benzinüzemű közúti gépjárművek futásteljesítményének modellezése

Ezek után modelleztem a benzinüzemű gépjárművek tüzelőanyag-fogyasztását a vizsgált helyen és időben (4. ábra):



4. ábra Egyéni közúti gépjárművek tüzelőanyag fogyasztása

A Monte-Carlo szimuláció segítségével gépjármű egyedekre bontottam szét a benzin üzemű gépjárművek klaszterét tüzelőanyag fogyasztás alapján (5. ábra):



5. ábra Egyéni közúti gépjárművek egyedi tüzelőanyag fogyasztása

Látható, hogy 5000 gépjárműnek van relatív nagy fogyasztása, melyek potenciálisan megfelelő közlekedési vagy gazdasági eszközökkel kiválthatóak lennének (Pálvölgyi, Szendrő, 2011)

A fenti egyedi gépjárművek szimulált fogyasztási adataiból és szimulált futásteljesítményéből meghatároztam a CO₂ kibocsátást (3). A vizsgált területen a benzinüzemű egyedi személygépjárművek megközelítőleg 21 000 000 liter benzint égettek el, aminek következtében 47,1 GgCO₂ került a levegőbe.

Hasonlóan az előzőhöz elvégeztem a szimulációt a gázolajüzemű egyedi személygépjárművek csoportjára is. Megközelítőleg 5 000 000 liter gázolajat égettek el, aminek következtében 10,3 GgCO₂ került a levegőbe.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fent leírt folyamat pontossága növelhető, ha a vizsgálati csoport méretét tovább csökkentjük, de figyelembe kell venni az ezzel összefüggő nem lineáris számítási idő és -igény növekedést.

A fent bemutatott eljárás segítségével gyorsan, kis számítási kapacitás felhasználásával sikerült a választott település közúti egyéni személygépjármű közlekedéséből adódó CO₂ kibocsátásnak makroszkopikus modellezése. Az eljárás "mellékterméke", hogy a vizsgálati területre vonatkozóan mikroszkopikus adatokat szolgáltat. Ezen aggregált adatok diszaggregációjának más szempontú aggregációjából jön létre a becsült mezoszkopikus állapotjelző. A mikroszkopikus becsült adatok segítségével további környezeti, gazdasági vagy politikai vizsgálat végezhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai

célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja valamint a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja támogatja. A szerző külön köszönetet mond Prof. Dr. Florian Heinitznek, az Erfurti Tér és Közlekedés Kutatóintézet igazgatójának önzetlen segítségéért.

HIVATKOZÁSOK

Bereczky Ákos (2012): Parameter analysis of no emission of spark ignition engines. *Transport* **Vol. 27.**, **No. 1** pp. 34-39. (2012)

Emőd I., Török Á. (2010): A hazai gépjármű állomány statisztikai vizsgálata különös tekintettel a károsanyag kibocsátásra, *Jövő Járműve –Járműipari Innováció* **Vol 5 No 1** pp.16-21

Hunyadi L. (2011): Bayesi gondolkodás a statisztikában. *Statisztikai Szemle*. **Vol 89. No. 10–11.** sz. pp 1150–1171.

Kehl Dániel (2012): Monte-Carlo-módszerek a statisztikában, *Statisztikai szemle*, 2012. **Vol. 90. No. 6.** pp521-543.

Ntziachristos L., Kouridis C., Kioutsioukis I., Gkatzoflias D. (2012): *EC4MACS - Uncertainty Treatment: The REMOVE/COPERT Transport Models*, Laboratory of Applied Thermodynamics (LAT) Aristotle University Thessaloniki, p63

Pálvölgyi Tamás, Szendrő Gábor (2012): Trends and indicators for sustainable mobility in Hungary, Eszterházy Károly Főiskola Tudományos Közleményei - *Acta Oeconomica*, **Vol 1**, pp. 125-132.

Robert, C. P. – Casella, G. (2011): A Short History of Markov Chain Monte Carlo: Subjective Recollections from Incomplete Data. *Statistical Science*. **Vol. 26. No. 1.** pp. 102–115.

Srejgyer JU. A. (1965): *Monte-Carlo-Módszerek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p307

Student (1908): The Probable Error of a Mean. *Biometrika*. **Vol. 6. No. 1.** pp. 1–25.

Szendrő Gábor (2011): Congestion charging in Budapest – a comparison with existing systems, *Periodica Polytechnica-Transportation Engineering* **Vol 39.No 2** pp. 99-103

Török A. (2009): Theoretical estimation of the environmental impact of biofuel mixtures, *Transport* **Vol 24 No 1**, p26-29

Zöldy Máté (2011): Ethanol-Biodiesel-Diesel Blends as a Diesel Extender Option for Internal Combustion Engines, *Transport* **Vol. 26., No. 3**, pp. 303-309. (2011)

www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99200060.KOR

www.petroleum.hu