

Stratégiai zajtérkép készítése makroszkopikus közúti közlekedési modellt alkalmazó szoftverrel

Stróbl András*, Dr. Péter Tamás**, Fazekas Sándor***

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
(e-mail: strobl.andras@gmail.com)*

***Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésautomatikai Tanszék
H 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (tel.: +36-1-4631013, e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)*

****Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésautomatikai Tanszék
H 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: alexanderfazekas@gmail.com)*

Absztrakt: A cikkben bemutatjuk a városi közlekedéssel összefüggő zajszennyezés általános képét, az ezzel kapcsolatos problémákat. Targyaljuk a korábbi publikációkban [4, 5, 12] részletesen bemutatott makroszkopikus közúti közlekedési modellt alapul vevő szimulációs szoftver továbbfejlesztési lehetőségét az ÚT 2-1.302 jelzésű Útügyi Műszaki Előírás szerinti zajterhelésszint számítási módszerrel. Ismertetünk egy megoldási lehetőséget a szoftverrel számított forgalmi helyzetekből készíthető stratégiai zajtérképek kivitelezésére, továbbá vázoljuk egy jövőbe mutató, 3D-s zajtérkép készítésének módját és alkalmazhatóságát.

1. BEVEZETÉS

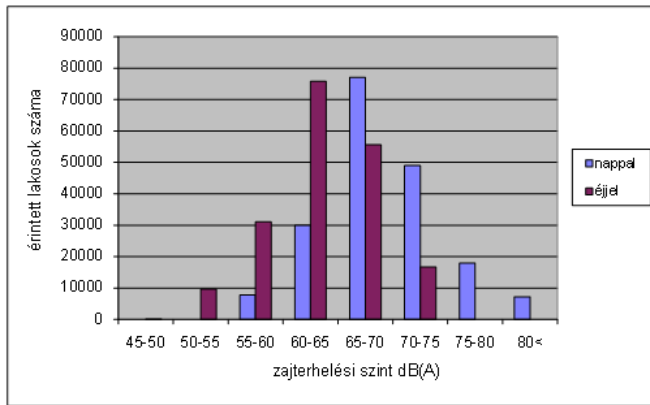
Minden napjaink során a környezetünk minőségét nagyban meghatározza a zaj, elsősorban a közlekedési zaj. A motorizáció fokozódásával azonos ütemben nőtt a közlekedési zaj annak ellenére, hogy az egyes közlekedési eszközök egyedi zajkibocsátása csökkent. A jelenség a forgalom óriási növekedésével magyarázható, aminek következményeképp ma a városi zajterhelés 70-80%-a a közlekedésből származik. „Az ENSZ adatai szerint a civilizációs zajterhelés évtizedenként 1 dB-lel növekszik, a nagyvárosi zaj ma harmincszor akkora, mint a 30-as években volt.” [10]

Az Európai Gazdasági Közösségben a környezetvédelem kérdése viszonylag későn, a hatvanas évek végére, a hetvenes évek elejére került a figyelem középpontjába. Az Unió szabályozás központi forrásának a Bizottság által kidolgozott környezeti akcióprogram-rendszert tekinthetjük. A zaj elleni közösségi küzdelem eddig elért eredményeit, és korántsem kevés hiányosságait a 1996 novemberében elkészült „Zöld Könyv” deklarálta. A Könyv reális képet festett a közvetett szabályozási elv- mely szerint a környezeti zaj helyi probléma, aminek felszámolása tagországi kötelezettség- kudarcra van ítélve. A Zöld Könyv elsőként rögzítette egy olyan keretszabályozás szükségességét, amely a környezeti zaj kezelésére vonatkozó kötelező direktívákat tartalmazza.

A zajvédelem területén a legfontosabb intézkedési feladatként:

- a zajforrás kibocsátási jellemzőinek megváltoztatását
- a zajtól védendő területeknek a zajforrás-területektől való geográfiai elkülönítését
- passzív eszközök igénybevételelét jelölte meg.

A korábbi szabályozással ellentétben, már nemcsak egyes meghatározott termékek zajkibocsátásának mérési módszerei és határértékei egységesítésében látták a zajszennyezettég csökkentésének lehetőségét, hanem a passzív védelem, a közlekedéstervezési intézkedések támogatásában és a gazdasági eszközök figyelembevételében egyaránt. 2002 júniusában fogadták el a 2002/49/ EK irányelvet, mely a stratégiai zajtérkép - készítés kötelezettségét róta a tagállamokra. A térképek a nagyvárosi agglomerációtól a nagy forgalmú közutak és vasútvonalakon keresztül a fontosabb repülőterek körét fogják át. Az egyes országok a stratégiai zajtérképek mellett az egyes lokális problémák kezelésére intézkedési tervek elkészítését vállalták. [8]



1. ábra: A zajban érintett lakosok számának eloszlása az őket érő zajterhelési szint szerint [11]

Az irányelvben a Bizottság további célokat fogalmazott meg az „elzajosodott Európa” problémájának csökkentésére:

- zajterhelés mértékére vonatkozó megbízható adatbázis
- az egyes zajforrások külön irányelvekben történő szabályozása
- a tagállami zajszintekre vonatkozó adatok összehasonlító kritériumoknak történő alávetése
- széles körű nyilvánosság

Amint látható, a zajimmisszió feltérképezésére, megállapítására irányuló igény (és kötelezettség) jelen van hazánkban és Európában is. Kézenfekvő tehát a lehetőség, hogy az elmúlt években Dr. Péter Tamás által megfogalmazott [1, 2, 3, 6, 7] makroszkopikus közúti közlekedést leíró modellre fejlesztett PannonTraffic szoftverünket [4, 5, 12] ilyen irányban is bővítsük.

2. A ZAJTERHELÉSSZINT SZÁMÍTÁSA

A Gazdasági és Közlekedési Minisztérium Közúti Közlekedési Főosztálya kiadásában az ÚT 2-1.302:2003 számú útügyi műszaki előírás részletesen leírja az országos közutak kezelői számára kötelezően alkalmazandó számítás menetét a zajterhelésszint megállapítására. A következőkben kiemeljük a szoftverünkben történő alkalmazása szempontjából jelentősebb részeit a számításnak – mellőzve a vonatkozó szabványokban és az idézett előírásban szereplő terminológia magyarázatát.

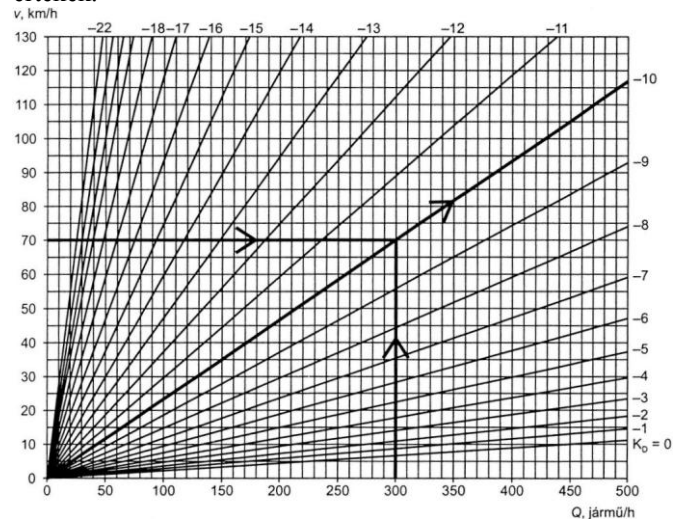
A zajterhelésszint számításakor ún. akusztikai járműkategóriák kerülnek megállapításra, amely az egyes forgalmi járműkategóriák összevonásával történik. Ily módon pl. a motorkerékpár akusztikai szempontból egy kategóriába kerül a könnyű tehergépkocsival és a szóló autóbusszal. A szoftverben egységjárművek, ill. jármű-méter mértékegységben állnak rendelkezésre a forgalmi adatok, ezért célszerű bővíteni a szoftvert egy modulval, melyben a modellezett terület egyes részeire a forgalmi járműkategóriák megoszlása beállítható. A továbbiakban a műszaki előírás – kevés kivétellel – minden paraméter és korrekciós tényező

megállapításánál erre az akusztikai járműkategória besorolásra támaszkodik, így alkalmazása megkerülhetetlen. Az útkategóriák megállapítására (Autópálya, autótűt, egyéb út: 4 ill. 2 forgalmi sáv) a felhasználó által felvitt útgeometriai adatok alapján egyértelműen lehetséges. A terhelési paraméterek értéke – az akusztikai járműkategórián túl – két tényezőtől függ. Egyfelől tudnunk kell, hogy egyenletesen áramló, gyorsuló, avagy lassuló forgalom jelentkezik az adott útszakaszon, másfelől az útszakasz emelkedésének (lejtésének) %-os értékének ismerete szükséges. Míg előbbi adatok a jelzőlámpák és egyéb forgalombefolyásoló elemek statikus helyzetéből adódóan rendelkezésre állnak, addig a domborzati viszonyok befolyásoló hatásától egy városi modellben többnyire eltekinthetünk, hiszen a települések jórészt sík terepen terülnek el, és ahol mégis jelentős forgalmú, emelkedő útszakasz fordul elő, ott helyszíni szemle során annak értéke jól becsülhető, esetleg le is olvasható. A műszaki előírás A jelű fődiagramjából olvasható le az egyenértékű hangnyomásszint K_{i} tényezője a mértékadó sebesség és az előbb felsorolt paraméterek ismeretében.

Az útburkolat érdessége viszont jelentősen befolyásolja a keletkező zajt, így az ÚT 2-3.301 szerinti kopórétegek akusztikai érdességi kategóriákra lettek felosztva. Az A osztálynál rosszabb besorolású útburkolatoknál korrigálás szükséges, amely a következő képlet szerint történik:

$$K_{t, \text{korrigált}} = 10 \log [10^{0,1K_t} - 10^{0,1G_i} + 10^{0,1(G_i+K)}]$$

ahol G_i értékek az előírás D jelű segéddiagramjából olvashatók le, a K tényezők pedig az akusztikai érdességi kategóriára vonatkozó, a műszaki előírásban megadott értékek.



2. ábra: ÚT 2-1.302 sz. műszaki előírás B fődiagramja

Az egyenértékű A-hangnyomásszint számításához ki kell számolni még K_D értékét is, amely az előírás B jelű fődiagramjából olvasható le a mértékadó sebesség és az akusztikai járműkategóriához tartozó forgalomnagyság (jármű/h) függvényében. A forgalomnagyságot az útkategóriának, napszagnak (nappali vagy éjjeli) és akusztikai járműkategóriának megfelelően egy A_{in} tényezővel kell

csökkenteni, továbbá nappali időszakban 16 óras, éjjel 8 óras időtartamra vonatkoztatva számolni.

Az akusztikai járműkategóriánként kapott egyenértékű zajszinteket összegezzük, és az összeg logaritmusának tízszere adja azt az L_{eq} hangnyomásszintet, amely ideálisnak tekinthető körülmények között az előírásban definiált pontban mérhető.

A következőkben ismertetem azokat a további korrekciós tényezőket, amelyeket figyelembe kell venni, ha nem ideálisak a körülmények – mértékegységeik dB-ben értendők.

K_d távolságtól függő korrekció

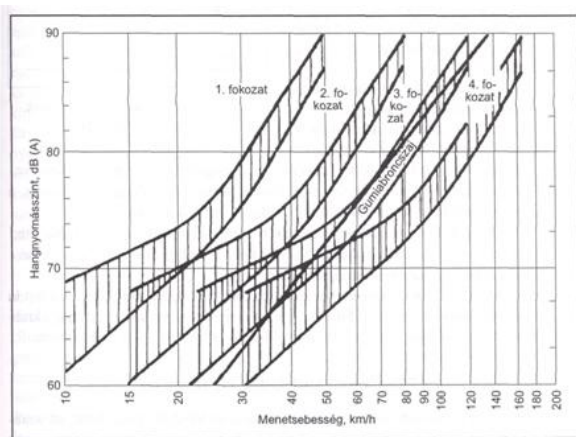
Az alkalmazandó összefüggés: $K_d = C \log (7,5 / d)$ ahol C értéke a forrás és a megítélési pont között akadálymentes a terjedés és átlagos hangvisszaverő tulajdonságú terület esetén (pl. szilárd burkolatú terület) $C=12,5$; akadálymentes terjedés és hangelnyelő tulajdonságú terület esetén pedig $C=15$, továbbá d értéke az útszakaszhoz tartozó akusztikai közép vonal és a megítélési pont távolsága méterben.

K_h hangvisszaverődésektől függő korrekció

Az előírás három csoportra osztja a megítélési ponttal szembeni beépítést: szabad tér, laza és zárt csoportokra. Az egyes csoportokhoz tartozóan a megítélési pont relatív magassága (immissziós pont magasságának és a vizsgálatba vont útvonal egymással szemközti homlokzatai távolságának hányadosa) szerint adódik 0,5 és 3 dB közötti zajszint emelkedés.

K_z növényzártól függő korrekció

Értéke igen alacsony általában; 30 m széles fa- és cserjeállomány esetében kell egyáltalán figyelembe venni, és a számítás összetettsége, valamint a figyelembe veendő paraméterek nagy száma miatt ennek tárgyalásától eltekintünk.



3. ábra: Gumiabroncs-zaj diagramja a menetsebesség függvényében, együtt ábrázolva a motorzajjal sebességfokozatonként [9]

- **K_m talaj- és meteorológiai viszonyok csillapító hatása**
 Szabad hangterjedés esetén az alábbi összefüggés szerint kell figyelembe venni:

$$K_m = -4,8 \exp[-(h_m/d_m(8,5+100/d_m))^{1,3}]$$

ahol h_m az akusztikai közép vonal és az immissziós pont közötti közepes terepszint feletti magasság, d_m pedig a vízszintes vetületen (légvonal) vett távolsága a forrás- és immissziós pontnak. Zajárnyékoló létesítmény esetén ezt a hatást 0 értékkel vesszük fel, helyette a következő K_a tényezőt alkalmazzuk.



4. ábra: Zajvédő fal az M3 autópályán

K_a hangárnyékolástól függő korrekció

Az út és az észlelési pont között elhelyezkedő árnyékoló létesítmények (pl. zajvédő fal, töltés) zajárnyékoló hatását kifejező korrekció arra az esetre vonatkozik, amikor az árnyékoló létesítmény hossza biztosítja, hogy a létesítmény végeitől, árnyékolás nélkül érkező zajszint járuléka elhanyagolható legyen a falra merőleges irányból, a fal felett diffraktált hangtér által okozott zajszint mellett. A számításakor használandó összefüggés a következő:

$$K_a = -10 \log \left[3 + 80 \cdot (a + b - d) \cdot \exp \left(-\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot d}{2 \cdot a + b - d}} \right) \right]$$

ahol a a forrás és a zajárnyékoló létesítmény legmagasabb pontjának távolsága, b az utóbbi pont és az immissziós pont távolsága, d pedig az immissziós pont és a forrás távolsága méterben.

K_l az adott útszakasz látószöge (β [°]) miatti korrekció

Értéke a műszaki előírás C jelű segéd diagramjából leolvasható.

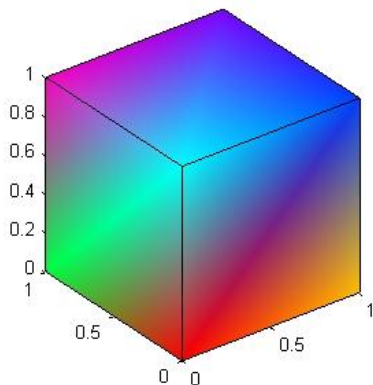
Az előbbieken felsorolt korrekciós tényezők magyarázata során láthattuk, hogy a környezeti tényezők összessége nem elhanyagolható mértékű zajnövekedést (csökkenést) okozhat az előzetesen kiszámított zajszint mértékében. A szoftverben tehát a lehető legtöbb környezeti paramétert be kell építeni – mérlegelve az egyes tényezők végeredményt befolyásoló hatásának és a figyelembe vételével együtt járó

munkatöbbletnek az arányát. A legjelentősebb korrekciót adó tényezőkkel (távolság, hangvisszaverődés és hangárnyékolás) kapcsolatos létesítmények térinformatikai paramétereit a szoftverben rögzíteni kell, erre egy külön felületet kell létrehozni. Megjegyezzük, hogy a szoftver eddig a topográfia síkbeli szerkesztésére adott módot, és a közlekedési infrastruktúrának csak a hálózati gráf leképzéséhez szükséges elemei kerültek megszerkesztésre.

3. ZAJTÉRKÉP KÉSZÍTÉSE A PANNONTRAFFIC SZOFTVERREL

A PannonTraffic Engineer alkalmazás felkészítését a zajtérképhez kapcsolódó számítások és a vizualizáció elvégzéséhez több lépcsőben tervezzük.

1. *lépcső*: Az útszakaszokat képviselő objektumosztály bővítése a következő paraméterekkel: szélesség [m], emelkedés [%], útkategória [autópálya, autópálya, 4 vagy 2 sávú egyéb út], kopórétteg [ÚT 2-3.301 szerint] → akusztikai érdességi kategóriákba sorolás, járműkategóriák megoszlása [ÚT 2-1.109 szerint] → akusztikai járműkategóriákba sorolása az úton haladó járműveknek
2. *lépcső*: Az ÚT 2-1.302 sz. műszaki előírásban szereplő táblázatok, fődiagramok és segédiagramok beépítése a szoftverbe, lehetőség szerint oly módon, hogy az előírás változásával – vagy az esetleges saját mérési eredményekkel történő pontosítással – módosíthatóak legyenek ezek a tényezők, ill. görbék.
3. *lépcső*: Jelenlegi modellelemek kiterjesztése a hangvisszaverő és hangárnyékoló felületek (épületek, műtárgyak, zajvédő fal, töltés, stb.) számára a következő tulajdonságokkal: alappont [síkbeli pont], első közelítésben téglatestként modellezve: kiterjedés (rendre x,y,z) [méter, méter, méter], elforgatás [fok], felület jellege [hangárnyékoló vagy hangvisszaverő]
4. *lépcső*: Raszter létrehozása a felhasználó által definiálható finomsággal, ahol a raszter rácspontjai lesznek az egyes immissziós pontok. Algoritmusok implementálása az immissziós pontokra elvégezendő, az előző fejezetben ismertetett számításokkal. Adatbázis létrehozása a nappali és az éjszakai forgalmi adatok alapján végzett 16 ill. 8 órás egyenértékű zajszintek és az immissziós pont hely koordinátáinak tárolására.



5. ábra: Példa egy VERTEX kocka megjelenésére

5. *lépcső*: 2D-s grafikus felület létrehozása DirectX csomag felhasználásával. Az alapkoncepció szerint a rácspontokat VERTEX-ek definiálnák, amelyek a komputer grafikában előszeretettel alkalmazott elemei a 2D-s és 3D-s megjelenítésnek, ugyanis a vizualizált objektumokat háromszög felületek borítják, amelynek csúcspontjai VERTEX-ek.

A VERTEX-eknek egyebek mellett van egy olyan számunkra előnyös tulajdonsága, hogy a térbeli pozíciójuk mellett szinkódok rendelhetők hozzájuk, és a felületen a szomszédos VERTEX-ek irányában folytonos színátmenetet képeznek VERTEX SHADER segítségével. A stratégiai zajtérképeknél alkalmazott módon az egyes zajszint intervallumokhoz szinkódot rendelhetünk, és látványos, laikusok számára is jól érthető zajtérképet hozhatunk létre a számítások prezentálására.

6. *lépcső*: A raszter kiterjesztése 3D-ben. Egymás fölé helyezett rétegeket képezve magassági koordináta eltolásával több zajtérkép kirajzolása, melyek láthatósága egyenként kapcsolható, vagy egyetlen zajtérkép kirajzolása, de annak magassági koordinátája egy szabad változó, melyet a szimulációk lefutása után a felhasználó állíthat, és a szoftver tetszőleges magasság értékre elvégzi a kirajzolását.

4. ÖSSZEFOGLALÓ

Cikkünkben áttekintettük a PannonTraffic szoftvercsalád bővítésének lehetőségét a közúti közlekedési zaj számítása, és ezt alapul véve zajtérkép készítésére vonatkozóan. Feltártuk azokat a területeket, amelyek a tervezett bővítés szempontjából kiemelten fontosak, és megoldási javaslatokat fogalmaztunk meg a szoftver fejlesztésére vonatkozóan. A fejlesztés kivitelezésének ütemezésére tervet készítettünk, amely 5 + 1 lépcsőben foglalja össze a szükséges teendőket. A 6. lépcsőben kitértünk egy olyan egyedülálló fejlesztési lehetőségre is, amelyre eddig – ha mutatkozott is igény – a szakma nem dolgozott ki megfelelő megoldást. A zajtérkép számításnak és ábrázolásnak a kiterjesztése a 3D-s térbe azért bír nagy jelentőséggel, mert napjaink lakóépületei, irodaházai stb. jellemzően többemeletes épületek, amelyekben a felsőbb emeletek zajterhelésére vonatkozóan csak egyedi számításokat szoktak végezni megrendelés esetén, vagy jellemzően csak távolság korrekcióval becslik a zajszintet. A zajtérkép 3D-ben történő használatával viszont a közlekedési zajforrásokot körülvevő zaj-visszaverő és elnyelő felületek magasságbeli kiterjedését is figyelembe véve határozható meg a zajimmisszió. Egy jellemzően fennálló problémára ad kielégítő választ megoldásunk: nagy forgalmú út mentén létesített zajvédő falak magassága nem emelhető akármeddig (magas költségvonzata és esztétikai – városrendezési okok miatt), így módon a földszinti, esetleg 1.-2. emeleti zajvédelemet képes csak biztosítani, amelyet a zajtérképek ábrázolnak. Tervezzük még az ÚT 2-1.302-es sz. utógyműszaki előírásban foglalt számítási modellek korrigálását

saját zajszint mérési eredmények útján történő validációval, frissítendő a lassan tíz éves adatokat az előírásban.



7. ábra: A 3D-s zajtérkép ábrázolása többrétegű módszerrel Budapest példáján

Mindeközben a zajvédő fal felső peremén a diffrakció; illetve az eleve a zajvédő falat elkerülő irányú hanghullámok következtében a magasabb emeleten tartózkodó személyek lényegesen nagyobb zajexpozíciónak vannak kitéve, amelyről a stratégiai zajtérkép nem tesz tanúságot. Egyelőre eltekintettünk a városi közúti közlekedésben résztvevő kötöttpályás járművek okozta zajhatástól, mert ezek forgalmi paramétereit a szimuláció jelen állapotában nem számolja, de későbbiekben ilyen irányú fejlesztés is lehetséges.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatási munkát a SIEMENS Zrt. támogatta a Siemens és a BME Pro Progressio Alapítvány együttműködésével, a hallgatói szakmai körök számára kiírt pályázat keretében.

A cikkben bemutatott kutatásokat az OTKA CNK 78168 pályázat támogatta.

A kutatási munkát a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0009 projekt támogatta.

IRODALOM

- [1] Péter T., Bokor J.: Járműforgalmi rendszerek modellezése és irányításának kutatása. A jövő járműve, Budapest, 06, 1-2 pp19-23.
- [2] Péter T., Bokor J.: Nagy méretű közúti közlekedési hálózatok nemlineáris modelljének kapcsolati hipermátrixa, A jövő járműve, 1-2. Budapest, 2007
- [3] Péter T.: Intelligens közlekedési rendszerek és járműkontroll. Előírások a közlekedés biztonságának növelésére. Bp.2005. pp.1-465. Magyar Mérnökakadémia Symposium.
- [4] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Hazai szoftverfejlesztés a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok folyamatanalízisére, Budapest, 2007 Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia,
<http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>
- [5] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Speciális matematikai modellt alkalmazó szoftver, optimális útvonalak meghatározására. Budapest, 2009. Magyar Mérnökakadémia: Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia IFFK 2009.
<http://kitt.uni-obuda.hu/mmaws/>
- [6] Péter T.: Csomópontok optimális működtetése közúti közlekedési hálózatban, a matematikai modell tárgyalása. KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE LX. évfolyam:(1.) pp. 27-33. Paper 1. (2011)
- [7] Péter T.: Csomópontok optimális működtetése közúti közlekedési hálózatban, a számítási eredmények vizsgálata. KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE LX. évfolyam: (2) pp. 4-14. Paper 1. (2011)
- [8] Stróbl A., Suri N.: Ipari és közlekedési zajforrások megelőzésének, csökkentésének jogi, műszaki és gazdasági eszköztáráról, Budapest, 2010
- [9] Buna B.: A közlekedési zaj csökkentése, Budapest, 1982
- [10] Tulipánt G.: A közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata – PhD disszertáció. Budapest, 2007.
- [11] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: Zaj- és rezgésvédelem,
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/0330_zajterhel_s_5.doc
- [12] Péter T., Stróbl A., Fazekas S.: Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analízisére és tervezésére. A Jövő Járműve, III: (3-4).