

Levegő és zajszennyezés a forgalmi viszonyok függvényében

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

BME Közlekedésautomatikai Tanszék

*(e-mail: strobl.andras@gmail.com)

***(e-mail: alexanderfazekas@gmail.com)

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

Összefoglalás: Az előadás a közúti közlekedés által okozott városi levegő és zajszennyezés problémáját tárgyalja. Kitérünk ezen szennyezések okozta egészségügyi kockázatokra, és ezzel kapcsolatos lesújtó statisztikákra. Ismertetünk néhány légszennyezési modellt, azok paraméterigényeit, illetve a zajszennyezések modellezéséhez szükséges jellemzőket. Külön kitérünk a közúti közlekedés okozta zaj- és légszennyezés modellezési kérdéseire. Javaslatot teszünk a PannonTraffic közúti közlekedést modellező szoftverben történő alkalmazásukra egy forgalomfüggő modell felállításának tézisével.

1. BEVEZETÉS

Az 1960-as évek végéig az ipari termelés volt a légszennyezés legjelentősebb forrása a városokban. Napjainkban viszont az ipari és fűtési technológiák korszerűsítése valamint a nagyüzemek városokból történő kitelepítése következtében a közúti gépjárművek okozta légszennyezés a döntő. Pl. a súlyos egészségkárosító hatású részecskeszennyezés (PM10) közel háromnegyedét a közúti közlekedés okozza (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium).

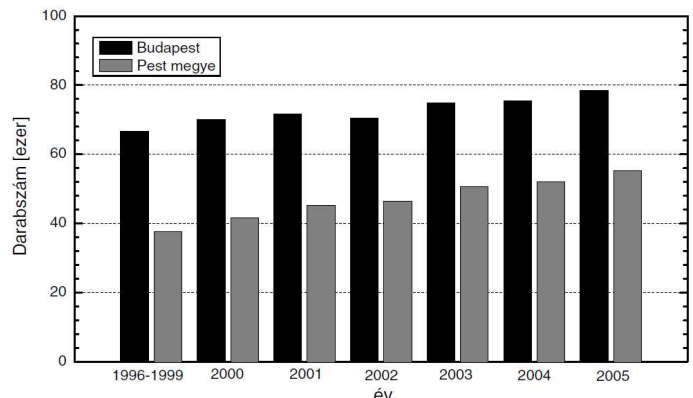
Ágazat	tonna/év	százalék
Ipar	320	13
Közúti közlekedés	1854	72
Lakossági fűtés	379	15
Szolgáltatók	5	0
Összesen	2558	100

1. ábra: A PM10 kibocsátás ágazati megoszlása
Budapesten

A hatvanas évektől kezdtek a környezetvédelmi előírások a gépjárműmotorok fejlesztésében is szemponttá válni. Kaliforniában azonosították először a légkörben a fotokémiai füstködöt (szmogot), melynek létrejöttében a gépjárművek kipufogógáz-alkotói játsszák a meghatározó szerepet. A további vizsgálatok feltárták a kipufogógáz emberi szervezetre káros alkotóit; ezek sorában olyanokat is találtak, melyekről addig tudomásunk sem volt. Ez készítette arra a környezetvédelmi törvényalkotókat, hogy a belsőégésű motorokkal szemben támasztott követelményrendszer első elemévé tegyék a környezetvédelmi előírásokat. 1992 óta az Európai Unióban minden új, Ottó-típusú motorral hajtott gépjárművet katalizátorral szerelnek fel. Hazánkban 1997 óta kötelező a katalizátor beépítése a személygépkocsikba, illetve 2000-től csak EURO III típusú dízelüzemű gépjárművek

helyezhetők forgalomba. A katalizátorral felszerelt gépjárművek aránya ennek hatására jelentősen nőtt, de a személygépkocsik átlagos életkora (ami 9,2 év volt 2006-ban Budapesten) alig csökkent az elmúlt években.

Mindennapjaink során a környezetünk minőségét nagyban meghatározza a zajszennyezés is, 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. (A fővárosba naponta bejövő autók száma megkétszereződött az elmúlt 15 év során, és elérte a 280 ezret. A személygépkocsi-utazások száma is közel kétszeresére nőtt. A közúti forgalom a Hungária körút – Budai körút vonalán kívül a sugárirányú főútvonalakon mintegy 30%-kal, a Duna-hidakon közel 50%-kal nőtt.) Ennek 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.” [4]



2. ábra: A Budapesten és Pest megyében regisztrált tehergépjárművek számának alakulása 1996-2005. évek között

Jelen kutatásunk nem a levegő és zajszennyezés problémájának elsődleges megoldására koncentrál, hanem

áttekintve a felmerült problémákat egy ezekhez kapcsolódó modell integrálását tűztük ki célul a PannonTraffic közúti forgalmat modellező [1] szoftverünkbe.

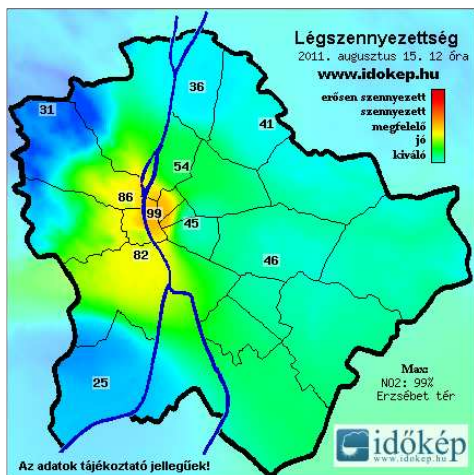
A PannonTraffic egy nagyméretű nemlineáris közúti közlekedési hálózatok modellezésére kifejlesztett szoftvercsomag [2], amelynek egyedülálló gyorsasága révén lehetőség nyílt olyan további nagy számításigényű modellek integrálására is, mint a levegőszennyezést vagy zajszennyezést leíró folyamatok modelljei.

A következőkben áttekintjük a levegő és zajszennyezés kapcsán felmerülő legsúlyosabb problémákat, amelyek a kutatás különös aktualitását alátámasztják.

2. A LEVEGŐ ÉS ZAJSZENNYEZÉS EGÉSZSÉGHATÁSOK

A közúti gépjárművek két főcsoportba sorolhatók a felhasznált tüzelőanyag szerint: benzinnel és dízelolajjal üzemeltetett járművek. A benzin és a levegő keverékének tökéletes égésekor széndioxid (CO₂) és víz keletkezik. Az üzemanyag tökéletes égéséhez szükséges optimális levegő-üzemanyag tömegarány 14,5. Az ettől való eltérés tökéletlen égést eredményez, amely levegőszennyező gázok: szénmonoxid (CO), szénhidrogének (CH), nitrogén-oxidok (NO_x), poliaromás szénhidrogének (PAH-ok), illékony szerves vegyületek (VOC-k), valamint aeroszolok (szálló por) kibocsátását eredményezi.

A városi levegőben az antropogén NO_x 47%-át, a CO 65-80%-át, a szénhidrogének 50%-át emittálják a gépjárművek. Ezen túl egy átlagos gépjármű több mint 1000 egyéb szennyezőt, köztük kormot, Zn-t, Ni-t, Cr-t, benzolt és aldehideket bocsát ki.

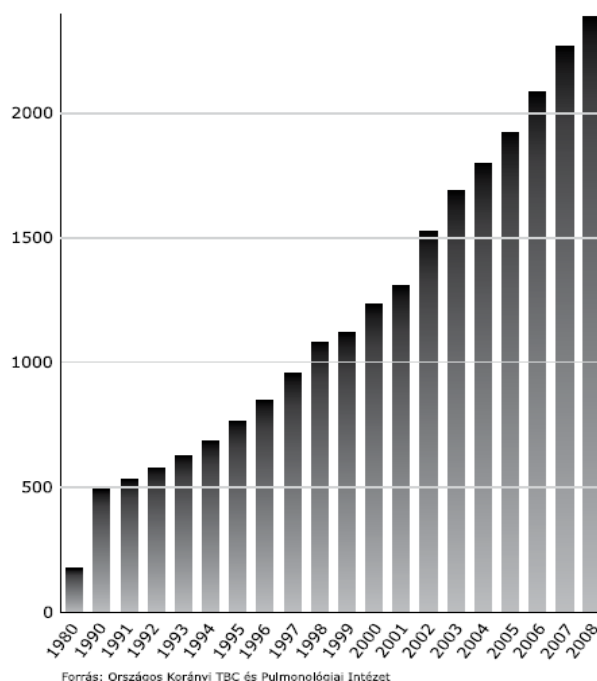


3. ábra: Budapest légszennyezettsége csúcsidőn kívül (2011. augusztus 15.)

A levegő-üzemanyag arányon kívül a szennyező anyagok mennyiségét befolyásolja még a motor felépítése, műszaki állapota, továbbá meghatározó, hogy a jármű gyorsul, egyenletes halad, fékez, vagy éppen üresjáratban van. A benzinhoz különféle céllal adalékanyagokat adnak. Az egyik legfontosabb adalékanyag az ólom (volt), melyet kopásgátlóként és kenőanyagként alkalmaztak. Az ólom

égéstérből történő eltávolításának elősegítése céljából az üzemanyaghoz brómot adagoltak. A levegőbe került ólom káros és jól dokumentált egészségügyi hatása miatt az ólmozott benzint világszerte fokozatosan vonják ki a forgalomból. Magyarországon 1999. április 1-én történt meg az ólmozott benzin kereskedelmi forgalomból való teljes kivonása, ami jelentősen javította nagyvárosaink levegőminőségét. Budapest belvárosában például az ólom és a bróm légköri koncentrációja a harmadára-negyedére csökkent, míg a Várhegyi alagútban e koncentrációcsökkenés egy nagyságrend volt már néhány hónap után. A PM10 szennyezés csak Budapesten évente mintegy 2000 ember idő előtti haláláért, több mint százezer megbetegedésért és összesen legalább egymillió betegen töltött napért felelős. A PM10 az egyik oka annak, hogy az asztmás megbetegedések száma Budapesten az utóbbi 25 évben tízszeresére, a tüdőrákosoké több mint háromszorosára nőtt. A PM10 károsító hatását jelentősen megnövelik a szemcsék felületén megkötődő egyéb szennyeződések. Az Egészségügyi Világszervezet álláspontja szerint jelenleg nem ismeretes a PM10 olyan alacsony koncentrációja, amelynél nem kellene az egészségkárosodás kockázatával számolni.

A PM10 koncentrációja a fővárosi levegőben évente 150-180 napon haladja meg az egészségügyi határértéket. Az Európai Unió 2011 júniusáig adott haladékokat a vonatkozó jogszabály betartására, ami azt jelenti, hogy évente legfeljebb 35 napon fordulhat elő határérték-túllépés. Amennyiben ez nem történik meg, komoly büntetésre számíthatunk – egyebek mellett egyes uniós támogatások felfüggesztésére (Nagy-Britanniával szemben a vonatkozó előírások be nem tartásáért 90 milliárd forintos büntetés kiszabását tervezik). A közlekedésen belül elsősorban a dízelüzemű járművek a felelősek a PM10-kibocsátásáért: túlnyomó részben a tehergépkocsik, kisebb mértékben a személyautók, és a legkevésbé – mindössze tizedéért – az autóbuszok.



4. ábra: Az asztmás betegek számának alakulása Budapesten 1980 – 2008 között (100 000 lakosra)

Világszerte a zaj által okozott hallóképesség-csökkenés a legelterjedtebb irreverzibilis foglalkozási ártalom, becslések szerint szerte a világban mintegy 120 millió ember szenved munkaképtelenséget okozó halláskárosodásban. A fejlődő országokban nemcsak a munkahelyi zaj, hanem a környezeti zaj is növekvő szerepű hallóképesség-csökkenést okozó rizikótényező. A zaj egyrészt az alvás ideje alatt elsődleges hatásokat fejthet ki, másrészt az éjszakai zajbehatás utáni napon megállapítható másodlagos hatásokat okozhat. A zavartalan alvás a jó fiziológiai és mentális funkció előfeltétele. Az alvás zavarásának elsődleges hatásai: elalvási nehézségek, felébredések és az alvás fázisainak vagy az alvás mélységének változásai, vérnyomás-emelkedés, pulzus- és ujjpulzus-amplitúdó növekedés, vasoconstrictio¹, a légzés megváltozása, szív arrhythmia² és hevesebb testmozgás. A reakció fellépésének valószínűségét feltehetően inkább a zajesemény hangereje és a háttérzajok hangereje közötti különbség, mint az abszolút zajszint határozza meg. Az éjszakai felébredés valószínűsége az éjszaka során történt zajesemények számával arányosan nő. A következő reggel vagy nap(ok) folyamán fellépő utó- vagy másodlagos hatások: rosszabb alvásminőség, növekvő fáradtságérzet, nyomott hangulat vagy közérzet, valamint a teljesítőképesség csökkenése. Az Amerikai Gyermekegyógyász Akadémia jelentése szerint³ a terhesség alatt túlzott zajnak kitett magzatok halláskárosodást szenvednek a magas frekvenciatarományban, továbbá ezek a zajhatások szerepet játszhatnak a koraszülésben illetve méhen belüli fejlődési rendellenességek kialakulásában.

3. LÉGSZENNYEZÉSI MODELLEK

A városi légszennyezettség széles tér- és időskálán lejátszódó fizikai és levegőkémiai folyamatokat foglal magában. A városok jellemző kiterjedése 10-20 km, illetve még nagyobb, amennyiben a várost körülölelő agglomeráció levegőminőségére gyakorolt hatásait is figyelembe vesszük. A városi léptékben megjelenő fizikai és kémiai átalakulások 100-200 km-es léptékben is éreztetik hatásukat, amennyiben szerepet játszanak a légköri mozgási energia elnyelésében, illetve a hő- és levegőszennyezési folyamatokban. Arról sem szabad ugyanakkor megfeledkezni, hogy a kontinentális-regionális térszkálájú folyamatok alakítják ki a városi levegő minőségét leíró fizikai és kémiai változók határértékeit. Modellezési szempontból a legösszetettebb és ezért a legnagyobb körültekintést igénylő feladat a nyomanyagok lokális és városi léptékű diszperziójának, kémiai átalakulásának szimulálása. Mindenekelőtt az alábbi körülményeket kell tekintetbe vennünk:

- A kibocsátás abban a légköri rétegben történik (canopy layer), ahol a légáramlásokat az épületek és egyéb mesterséges akadályok jelentős mértékben módosítják. Ennek következtében az adott pontban kialakuló koncentráció értéke akár nagyságrendileg

is különbözhet egy hasonló mértékű emisszió sűrűséggel jellemezhető, de beépítéssel nem rendelkező területen kialakuló koncentrációtól. Ebből következően, ha a lokális számítások során az egyedi akadályok hatásait csak leegyszerűsítve, például egy átlagos érdességi paraméteren keresztül vesszük figyelembe, jelentős hibát követünk el.

- A mérőpontok („receptor pontok”) szükségszerűen a források közelében helyezkednek el. Az áramlási mező természetes, illetve épített akadályok által gerjesztett változékonysága következtében a koncentráció értéke viszonylag kis távolságon belül is jelentősen változhat. Az erős koncentráció gradiens miatt gyakran szinte megoldhatatlan feladat a reprezentatív mérőpontok kijelölése a városi monitoring hálózat állomásai számára. A nyomanyagok koncentrációja egy adott receptor pontban rövid intervallumokban is igen jelentős időbeli változékonyságot mutat.

Bizonyos nyomanyagok vizsgálata során a helyi kibocsátás mellett a regionális-kontinentális léptékű légköri terjedés hatásait is tekintetbe kell vennünk. Erre jó példa a fotokémiai szmog kialakulása és fennmaradása, amelyet városon kívüli nitrogén-oxid- és VOC-kibocsátás, illetve a regionális léptékű légköri ózontranszport is jelentős mértékben szabályoz. A kielégítő pontosságú modellszámításokhoz ebben az esetben a két különböző térszkálájú közelítés összekapcsolása, egymásba ágyazása szükséges.

A modellezési feladat megoldását még bonyolultabbá teszi, ha a légkörben végbemenő gyors kémiai átalakulásokat is figyelemmel akarjuk kísélni. A városi, lokális környezetben lezajló levegőkémiai átalakulások különböző időléptékben mennek végbe, és a kialakuló koncentrációmezőt a keveredési folyamatok intenzitása, illetve annak tér- és időbeni kiterjedtsége is nagymértékben befolyásolja.

3.1 A Gauss-modell

A jelentős kibocsátással rendelkező magas pontforrásból származó környezeti terhelés vizsgálatára a Gauss-féle egyenletet alkalmazhatjuk. Felhasználása során számos feltételezéssel kell élnünk, de egyszerűsége, kis számítási igénye miatt azonban a mérnöki gyakorlatban ez a módszer igen elterjedt. Az elnevezés a szennyezőanyagok szélre merőleges irányú koncentráció eloszlása és a matematikai statisztikából ismert normális (Gauss-féle) eloszlás hasonlóságából származik. A véletlenszerű mozgások ugyanis közel semleges légrétegződés, továbbá az ülepedési folyamatok elhanyagolása esetén, a szélirányra merőleges vízszintes és függőleges síkokban normális eloszlást alakítanak ki. Részletes magyarázat nélkül: ha a térben állandó szélességet és turbulenciát, valamint sík felszínt

¹ érszűkület

² ritmuszavar

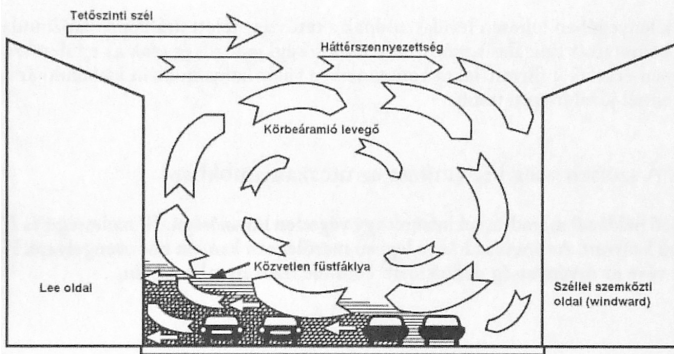
³American Academy of Pediatrics: Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn, Pediatrics, 1997. október, 724-727. o.

tételezünk fel a talajszinten, akkor az x tengely mentén ($y = z = 0$) a forrástól x távolságra a szennyezőanyag C koncentrációja a következőképpen számítható:

$$C(x,0,0) = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (1)$$

3.2 A levegő áramlása az utcákban

A levegő áramlásának legjellemzőbb tulajdonsága az utcák szintjén („street canyon”), hogy az épületek áramlásmódosító hatására örvények keletkeznek, és a talajszinti szél iránya ellentétes a tetők szintje felett tapasztalható széliránnyal. Annak ellenére, hogy ez a jelenség régóta ismert, leírására igen kevés közvetlen mérési eredmény áll rendelkezésünkre. Az utcákban uralkodó áramlási viszonyokra, szélprofilokra vonatkozó ismereteink nagy része szélcsatornában végzett kísérletekből származik.



4. ábra: Az áramlás és a diszperzió sematikus rajza utcakanyonban

A mérési eredmények alapján Oke (1988) osztályozta az utcakanyonokban kialakuló tipikus áramlási képeket. Vizsgálatai alapján három alapvető típust különböztetett meg: (1) elkülönülő érdességi, (2) hulláminterferencia, illetve (3) leszakadó (skimming) áramlást. A kanyon térbeli szerkezetét a H/W hányadossal határozta meg, ahol H a kanyon szélessége. Az egymástól nagyobb távolságban található épületek esetében, tehát a szélesebb utcákban ($H/W < 0,3$) az egyed épületekhez kapcsolódó áramlási mezők lényegében nincsenek kapcsolatban egymással, elkülönülten léteznek. Sűrűbb beépítettség esetén ($0,3 < H < 0,7$) a szél irányába eső épület által keltett hullám formáját a szemközi épület hatása is módosítja, aminek következtében ennek az épületnek a homlokzata mentén leszálló áramlás jön létre. Ezt a hulláminterferencia-áramlásnak nevezzük. A szűk utcákban ($H > 0,7$) viszonylag stabilis örvények alakulnak ki, melyek lényegében teljesen leválasztódnak a tetőszint felett uralkodó alapáramlásról. Az itt bemutatott tipizálás természetesen minőségi jellegű, és csak az épületekre merőlegesen érkező áramvonalakra vonatkozik: a valós kanyonokban kialakuló áramlási mező ennél jóval összetettebb.

3.3 A STREET modell

Egyike a legkorábban szerkesztett lokális diszperzió modelleknek (Johnson et al., 1973). A számítási elv több USA-beli nagyvárosban végzett mérési sorozat eredményeinek értékeléséből származtatott empirikus összefüggés azokra az esetekre, amikor a szélirány 30° -nál nagyobb szöget zár be a vizsgált utca irányával. Az első formula a Lee-oldali (áramlás felőli oldal) koncentráció becslésére szolgál:

$$C_{SL} = \frac{K}{u+u_0} \sum \frac{Q_i}{\sqrt{x_i^2+z^2+h_0}} \quad (2)$$

míg a második a széllel szemközi oldali koncentrációt fejezi ki:

$$C_{SW} = \frac{K}{u+u_0} \frac{H-z}{H} \sum \frac{Q_i}{W} \quad (3)$$

ahol: K egy tapasztalati úton meghatározott állandó ($K \approx 7$), u_0 a közlekedés által generált légáram sebessége ($u_0 \approx 0,5$ m/s), h_0 a légszennyező anyagok kezdeti keveredési magassága ($h_0 \approx 2$ m), x_i és z a horizontális és vertikális távolságok az i -edik forgalmi sáv és a receptor pont között, Q_i az i -edik forgalmi sáv szennyezőanyag-kibocsátása, H és W a kanyon magassága és szélessége.

A számítások szerint a koncentrációk kisebbek, ha nagyobb a szélesebb, illetve szélesebbek az utcák (természetesen azonos forgalmi kibocsátás mellett), továbbá nagyobbak a Lee-oldalon, mint a széllel szemközi oldalon. Hátránya a modellnek, hogy a szélirány változásait nem tudja kezelni, továbbá 1 m/s alatti szélesebbég esetén a valóságos állapothoz képest jelentősen torzítja a koncentrációmezőt. Ez különösen a „legkedvezőtlenebb eset (worst case)” számítása során jelenthet gondot, hiszen a jelentős légszennyezettséggel járó helyzetek az igen gyenge áramlási sebességek esetében fordulnak elő leggyakrabban. A fenti korlátok ellenére a modell alkalmazása a mérnöki gyakorlatban széleskörűen elterjedt, elsősorban a várható koncentrációk első, hozzávetőleges becslésére használják.

3.4 A CPMB modell

Újszerű közelítést jelentett a lokális diszperzió becsléséhez a Yamartino és Wiegand (1986) által fejlesztett Canyon Plume-Boksz Model (CPMB). A koncentráció eloszlás meghatározásához a gépjárművekből származó közvetlen légszennyezés hatását számító füstfáklya modellt kapcsolták össze egy olyan dobozmodellel, amely a szennyezőanyagok kanyonon belüli, örvényáramok által előidézett keveredését, újra elosztódását szimulálja. A közvetlen mérésekkel történt összehasonlítás eredményei alapján elmondható, hogy ez a modell abban az esetben ad a valóságoshoz közeli értékeket, amikor a koncentráció kialakításában a kanyon belsejében kialakuló örvény advekcója dominál a diffúzióhoz képest. A STREET modellel szemben a CPMB modell a meteorológiai feltételek széles tartománya mellett alkalmazható, de részletes ismertetésétől most eltekintünk.

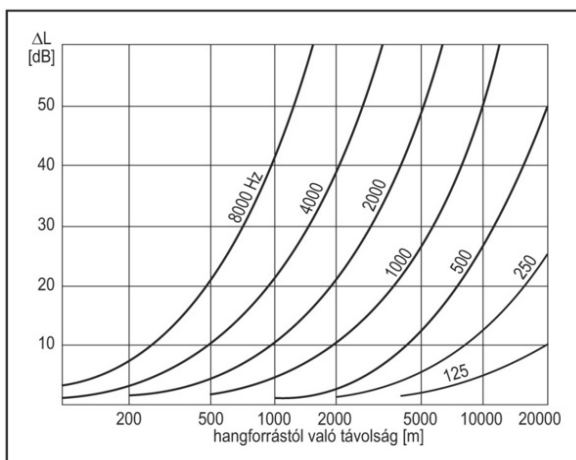
3.5 A CAR modell

A CAR modell (Eerens et al., 1993) parametrizációja széles körű szélcsatorna-vizsgálatok eredményeire épül. Összesen 49, különböző típusú épületegyüttest, illetve egyéb akadályt (pl. facsoportok) állítottak össze 1:250 arányú kicsinyítésben, majd minden egyes esetben 12 receptor pontban vizsgálták a különböző kibocsátások esetén kialakuló koncentrációkat. A modell az alábbi paramétereket veszi figyelembe: épületek magassága; az út középvezetől mért távolság; városi légszennyezési alapterhelés; a regionális háttér koncentráció; a vizsgált város karakterisztikus mértani sugarával arányos érték; a kibocsátás meghatározásánál külön kezeli a személygépkocsikat és könnyű áruszállítókat, illetve a nehéz tehergépjárműveket és autóbuszokat; emissziós faktorokat a járművek haladási sebessége függvényében határozzák meg négy átlagsebesség-intervallumra; az utca jellegétől függő hígulási változó; az aktuális szélesebséggel arányos tényező; a fák, facsoportok szélesebségre gyakorolt hatását jellemző empirikus változó.

4. KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS ZAJSZENNYEZÉSI MODELL

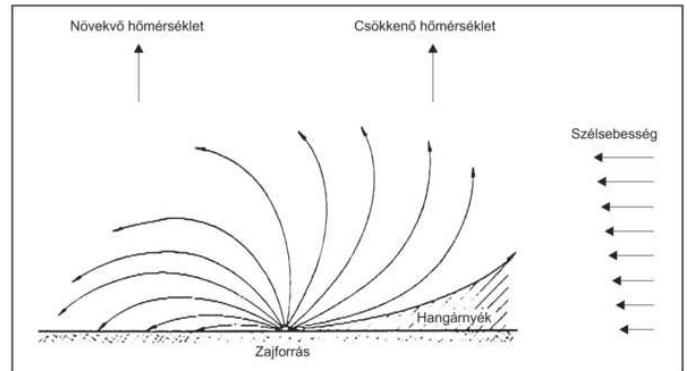
A zajszennyezés területén a modellezés még az előzőekben tárgyalt levegőszennyezési modellezésnél is összetettebb. Kifejezetten a közúti közlekedésre egy jó közelítéssel működő, általánosan használható modell aligha írható fel, mert a szükséges feltételrendszer laboratóriumon kívül sosem áll fenn. Az alábbiakban összefoglaljuk a zajterjedését befolyásoló elsődleges tényezőket.

A levegő, amelyben a hanghullámok terjednek, egyáltalán nem ideális, így a távolságtörvény alapján számított hangnyomásszint-csökkenésnél nagyobb adódik a valóságban. Ennek egyik oka a levegő hangelnyelése. A levegőben a zaj terjedése során veszteségek keletkeznek. A levegő csillapítása erősen függ a frekvenciától, a magas hangok jobban csillapodnak, mint a mélyek. A csillapítás függ ezen kívül a levegő hőmérsékletétől és relatív nedvességtartalmától is.



3 ábra: A levegő csillapító hatása a hangforrástól való távolság és a frekvencia függvényében

A szél és a hőmérséklet hatása a nyílt földfelszín fölött mindig létezik jelentős függőleges irányú szél- és hőmérsékleti gradiens, melynek nagysága és előjele befolyásolja a zajterjedési viszonyokat. A szélesebség és a hangterjedési sebessége vektorialisan összegződik, így a széliránnyal megegyező irányú hangterjedés nagyobb, ellenkező irányban kisebb sebességű. A légáramlást a talaj közelében a növényzet és a beépítés fékezi, ezáltal a szélesebség a magasság növekedésével növekszik. Emiatt a hanghullámok a szélirányban történő terjedésnél a föld felé, ellenkező irányú terjedésnél a földtől felfelé hajlanak el.



4 ábra: A hang elhajlása a magassággal növekvő szélesebség valamint a magassággal csökkenő vagy emelkedő hőmérséklet esetén

A széllel szembeni zajterjedésnél bizonyos távolságra árnyék jön létre. Szélirányban történő zajterjedésnél azonban nem alakul ki árnyék, sőt a hanghullámok föld felé hajlása ebben az esetben a mesterségesen akadályozott zajterjedést kedvezőtlenül befolyásolja, és a zajcsökkentő hatást részben vagy teljesen megszünteti. A szél hatása különösen nagy távolságokban okozhat nagy hangnyomásszint-ingadozásokat. A szélhez hasonló hatást okoz a zaj terjedésére a hőmérséklet is. Abban az esetben, amikor a hullámfront bizonyos részeinek terjedési sebessége különbözik a hullámfront többi részének sebességétől, a hullámfront iránya megváltozik. Nappal a talaj felmelegedése közben a levegő felsőbb rétegei hidegebbek, mint az alsók, azaz negatív hőmérséklet-gradiens alakul ki, az alsóbb rétegekben a hanghullám útját jelző nyomvonal felfelé görbül, és bizonyos távolságban árnyékvona alakul ki. Abban az esetben, ha az alsó rétegek hidegebbek (télen, valamint tiszta szélcsendes éjszakában), mint a felsők, akkor a nyomvonal a föld felé hajlik el.

A talaj közelében bekövetkező különböző hatások többletcsillapítást okozhatnak. A földhatás komplex jelenség, amelyet a föld hangvisszaverő és hangelnyelő tulajdonsága együttesen idéz elő, és amelyet jelentős mértékben befolyásolnak a földközeli meteorológiai viszonyok. A föld (és itt földön értünk bármilyen, a gyakorlatban előforduló visszaverő és elnyelő felületet) elnyelése és reflexiója a föld akusztikai tulajdonságai és impedanciája mellett a zajforrás és az észlelő magasságától és távolságától is függ. A kemény felületek (beton, aszfalt) hangelnyelése nagyon csekély, a füves terület, kötött talaj elnyelése már jelentős. Ha a zajforrás a talaj fölött van, interferencia lép fel a megfigyelő helyén, a közvetlen és a talajról visszavert hanghullám

között. Nagyobb távolságok esetén a hangelnyelés és szóródás következtében 3 dB többletszűrésrel számolhatunk, a szabad féltéri terjedéshez képest. A sűrű fű vagy más aljnövényzet lényegesen nagyobb csillapítást eredményez, mint az elnyelő talajok (pl. homok). A csillapítás elérheti a 20 dB/100 m értéket is.

A földfelszíni hangterjedést jelentősen befolyásolják a különböző akadályok – házak, házsorok, falak, gátak – és a domborzati viszonyok. Az akadályok mögött hangárnyék alakul ki, ahova, ha más visszaverő felületek nincsenek a közelben, csak az akadály felső élét és rétegeit megkerülve a hullámelhajlás jelensége miatt és különleges terjedési viszonyok következtében jut el a hang. A hang útjába helyezett akadály (épület, terepalakulat, zajvédő fal) mögött hangárnyék keletkezik. Az akadály élénél a hang szóródik, ezért az árnyékolás nem teljes, a hangakadály mögé is jut.

5. AZ EGYES MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGA

5.1 Levegőszennyezés

A szakirodalomból származó légszennyezési modelleket áttekintve látható, hogy bármelyik modell alkalmazása jelentős erőforrásigénnyel jár, és a korrekt számításához szükséges adatok teljes körű beszerzése ellehetetlenül nagy hálózatok esetében. Magyarországon történtek kezdeményezések levegőszennyezettséget előrejelző rendszer kiépítése ügyében (lásd HUNGRID), de ezek széleskörű társadalmi összefogás nélkül nem megvalósíthatók, tehát egy közlekedés szimulációs szoftverben való alkalmazásuk sem ésszerű célkitűzés. Reális célként olyan a légszennyezettség számítására alkalmas modell kutatását javaslom a továbbiakban, amely a forgalom nagyságára, mint fő jellemzőre támaszkodva ábrázolná a nagyméretű közlekedési hálózatokon a levegő szennyezettségét. A modell tetszőlegesen finomítható, pl. olyan közlekedésgazdasági paraméterek alkalmazásával, amelyek a körzet járműállományát jól jellemzik. Online módon történő használatának alapfeltétele adatközponttal kiépített kapcsolat, amely néhány elengedhetetlenül szükséges adatot szolgáltat, mint pl. az uralkodó szélirány és -sebesség. (Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) automata mérőállomásai 54 helyen mérik folyamatosan a kiemelt jelentőségű légszennyező anyagok [kén-dioxid, nitrogén oxidok, nitrogén-dioxid, szén monoxid, ózon, szálló por (PM10), benzol] mennyiségét és az értékeléshez szükséges meteorológiai paramétereket (szélsebesség, szélirány, hőmérséklet, légnedvesség). További 5 mobil mérőállomás, mérőbusz áll rendelkezésre az időszakos levegőminőségi vizsgálatok elvégzésére. A mért adatok on-line módon jutnak a mérőállomásokról az alközpontokba és az országos Adatközpontba.)

5.2 Zajszennyezés

A hanghullámok terjedésének, illetve azok intenzitásának csökkenése az előbbieken összefoglalt szempontrendszer szerint bonyolult, mindenképpen nagy mérésigénnyel felmerülő feladat. Figyelembe véve annak a lehetőségét, hogy a későbbiekben a PannonTraffic szoftver tervezési funkciói kiegészülnek pontosan paraméterezett épületek elhelyezhetőségével, domborzati, hőmérsékleti, szélesebesség adatokkal, továbbá az egyes környezeti elemeket jellemző anyagok jellemzőivel, úgy egy jó közelítéssel számoló empirikus modell leírására lesz módunk. Azonban a felmerülő nagy mérési adat igények mellett első közelítésben egy forgalomarányos, utca-szintű modell integrálását látjuk kivitelezhetőnek, melyben elegendő volna a közlekedési modellünk számára ismert paramétereken túl a forgalom összetételét jellemző paraméter felvétele, illetve egy referenciamérési sorozat felhasználása a forgalomban résztvevő járművek összetétele és az utcafronti épületek homlokzatánál mért hangnyomás közötti összefüggést illetően. A szimuláció során így kapott zajtérkép tájékoztatási jelleggel, és riasztási rendszerben való részvételre alkalmas lehetne online monitoring esetén.

IRODALOM

- [1] Péter Tamás: Nagyméretű nemlineáris közlekedési hálózatok modellezése Közlekedéstudományi Szemle LVII.:(9) 322-331 (2007)
- [2] Péter Tamás – Stróbl András – Fazekas Sándor: Szoftverfejlesztés eredményei, a nagyméretű közúti közlekedési hálózatok analizésére és tervezésére. A jövő járműve, III: (3-4).
- [3] Stróbl András – Suri Noémi: Ipari és közlekedési zajforrások megelőzésének, csökkentésének jogi, műszaki és gazdasági eszközei, 2010
- [4] Tulipánt Gergely: A közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata - PhD disszertáció, Budapest, 2007.
- [5] WHO: Night noise guidelines for Europe, Copenhagen, 2009.
- [6] Bozó László – Mészáros Ernő – Molnár Ágnes: Levegőkörnyezet – Modellezés és megfigyelés, 2006
- [7] Szeredi Ágnes: Szakdolgozat, ELTE Kémiai Technológiai és Környezetkémiai Tanszék, Témavezető: Dr. Salma Imre
- [8] Lukács András: Út a városi közlekedés új kultúrájához
- [9] Zichler Szilvia – Ocskay Rita – Salma Imre: Budapest levegőszennyezettségének története, 2007
- [10] Patvarczki József – Debreczeni Gergely – Lovas Róbert – Lagzi István – Kacsuk Péter – Turányi Tamás: A HunGrid bemutatása és alkalmazása levegőszennyezés előrejelzésére, MTA SZTAKI
- [11] Paár István – Csöndes Géza – Lakatos István – Nagyszokolyai Iván: Rendszeres Környezetvédelmi Felülvizsgálat, Közlekedéstudományi Intézet KHT, Budapest 2005.
- [12] Walz Géza: Zaj- és rezgésvédelem, Complex Kiadó, Budapest 2008.