



Budai Péter

A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásainak
hatása a csapadékvizek szennyezettségére

c. doktori (PhD) értekezés tézisei

Témavezető:
Dr. Clement Adrienne
egyetemi docens

Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem
Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

Budapest
2011

BEVEZETÉS, A VÁLASZTOTT TÉMA FONTOSSÁGA

Az emberi tevékenység által okozott nehézfém szennyezés kimagasló hányadát sokáig a fémkohászat pontszerű kibocsátásai adták. Egyes országokban a környezetvédelmi szabályozás fejlődése, más országokban a fémipar visszaesése, és mindezek mellett a közúti személy- és áruforgalom szerepének folyamatos erősödése oda vezetett, hogy napjainkban több nehézfém antropogén emisszióinak számottevő hányada közlekedési eredetű, a diffúz (nem-pontszerű) kibocsátások tekintetében pedig elsődleges fontosságúvá vált ez a forrás (Councell et al., 2004; Bergbäck et al., 2001).

A közúti közlekedés és a környezet nehézfém szennyezettségének kapcsolatát az elmúlt évtizedekben számos kutatás vizsgálta. Sternbeck et al. (2002) közúti alagutakban végzett mérései kimutatták, hogy az alagutak aeroszoljának Cd, Cu, Pb, Sb és Zn tartalma egyértelműen nem geogén eredetű, hanem a járművek kibocsátásaiból származik. Összefüggést találtak továbbá a forgalom nagysága és a levegő Cu tartalma között is. Councell et al. (2004) tavi üledékekben történő Zn felhalmozódás és a vizsgált tavak környezetében lévő utak éves átlagos forgalma között találtak erős kapcsolatot. Hjortenkrans et al. (2006) jó korrelációt állapítottak meg az utak menti talajok felső rétegének Cu és Sb szennyezettsége, valamint a forgalom nagysága, illetve sebességviszonyai között. Kimutatták továbbá, hogy a fékbetétek anyagában való, mindössze néhány évre kiterjedő széleskörű használat következtében az utak melletti talajok Cu és Sb koncentrációi a háttér értékek többszörösére emelkedtek. Hulskotte et al. (2007) a közúti közlekedés légköri Cu kibocsátását európai léptékben a többi kibocsátással egyenértékűnek becsülték és modellezett eredményeiket immisszió mérésekkel igazolták. Számításuk szerint a nyugat-európai országokban a közlekedési forrás a meghatározó (Hollandia esetében aránya eléri a 80%-ot), de a közép- és kelet-európai országok esetében is fontos tényező (Magyarország esetében 54%-ra becsülték a részarányát). A közlekedés nehézfém emisszióinak a csapadékvíz minőségére gyakorolt jelentős hatását ugyancsak számos vizsgálat bizonyította már (Göbel et al., 2007).

A közúti járműforgalom által kibocsátott nehézfémek tehát mindhárom környezeti elembe belekerülnek, ezáltal összetett levegőtisztasági, vízminőségi, valamint talajszennyeződési problémát okoznak. Perzisztens mivoltukból fakadóan idővel felhalmozódnak a befogadóokban: csatornázott belterületen a szennyvíziszapban, máshol pedig jellemzően a talajok felső rétegében és a felszíni vizek üledékében. Biológiai hozzáférhetőségük, és ezáltal toxikusságuk számos tényező függvénye, de hosszú távon mindenképp potenciális veszélyforrást jelentenek. Több vizsgálat is utal arra például, hogy a gumitermékek anyagában jelen lévő Zn mobilitása és biológiai hozzáférhetősége jelentős (Councell et al., 2004). Von Uexküll et al. (2005) pedig a fékbetétek kopástermékeiben is megtalálható, potenciálisan rákkeltő Sb vegyületekről mutatták ki, hogy borkósavban és fiziológiai oldatban egyaránt jól oldódnak. A közúti eredetű nehézfém kibocsátások a szennyezésnek huzamosabb ideig kitett üledéklakó élőlényekre, illetve az utak mentén élelmezési célra termesztett növényekben történő felhalmozódás miatt az emberre is veszélyes. Emellett a légköri immisszió fontosságát sem szabad elhanyagolni, hiszen például a humán expozíció leginkább ezen a módon megy végbe.

PROBLÉMAFELVETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

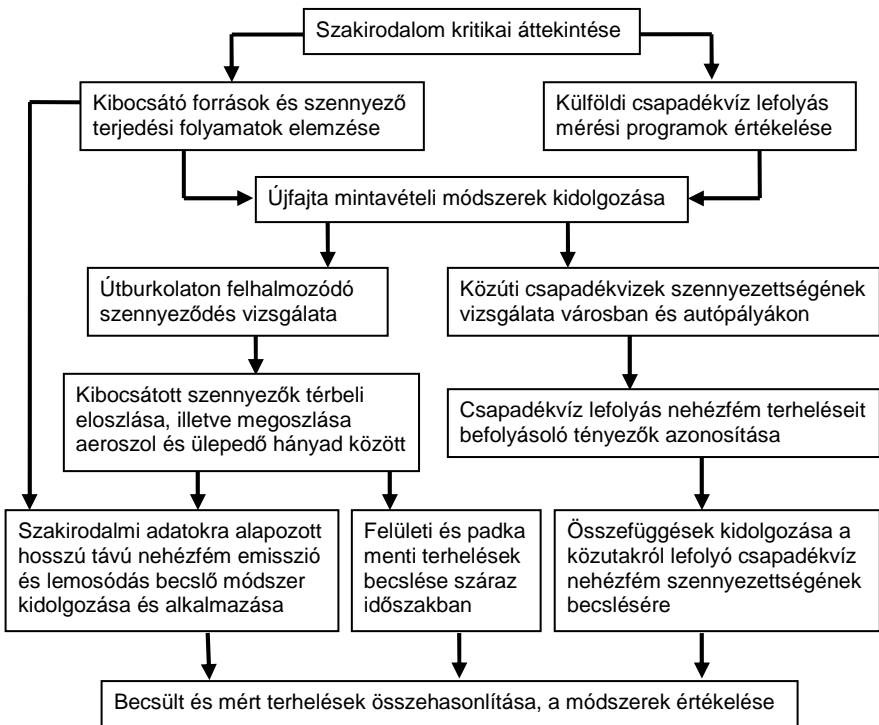
A jövő vízminőségi problémái egyre inkább a nem-pontszerű terhelésekhez, azon belül is a kis mennyiségben jelenlévő toxikus anyagokhoz kötődnek. Az ilyen típusú szennyező források között, mint láthattuk, a közúti közlekedés kibocsátásainak már most meghatározó szerepe van. Bár tudományos téren hazánkban is felhívták már a figyelmet a potenciális veszélyekre (Buzás és Somlyódy, 1997), széleskörű publicitást egyedül az üzemanyag égéstermék emissziók ólomtartalma kapott. A többi közúti közlekedésből származó nehézfémeket eddig csak érintőlegesen, vagy szigorúan egy-egy környezeti elemre (jellemzően levegőre vagy talajra) lehatárolva vizsgálták (Salma, 2010; Naszradi, 2007; Kiss és Vidovenyecz, 2008), a szennyezők transzportjában fontos szerepet betöltő vízre vonatkozólag azonban semmilyen hazai kutatási eredmény nem áll rendelkezésre. Értekezésemben ezért ennek fő célt tűztem ki:

- i) a közúti közlekedésből származó nehézfémek kibocsátási és terjedési folyamatainak átfogó elemzése;
- ii) az útburkolatok felületének és az onnan lefolyó csapadékvizek minőségének méréseken alapuló jellemzése nehézfém-szennyezettség szempontjából;
- iii) a csapadékvíz lefolyás nehézfém-szennyezettségét befolyásoló tényezők azonosítása, rangsorolása és számszerűsítése;
- iv) valamint a fentiek alapján a közúti járműforgalom nehézfém kibocsátásainak, illetve azok csapadékvíz lefolyást terhelő hányadának becslésére alkalmas módszerek kifejlesztése.

A témaválasztás, azon belül is a végcélként megfogalmazott kibocsátás és terhelés becslés hazai vonatkozásban úttörő jelentőségű, és alapjául szolgál majd a jövőbeni kutatásoknak. A vizsgált jelenség (diffúz szennyezés) sajátossága, hogy a szennyezés terjedési folyamatok összetettsége miatt a számítási módszerek jellemzően empirikusak. A helyszíni vizsgálatoknak így igen fontos szerep jut. Saját terepi méréseimhez új mintavételi eljárásokat fejlesztettem ki, melyek a jövőben is alkalmazhatóak lesznek hasonló vizsgálatokhoz.

A kitűzött célok eléréséhez az 1. ábrán bemutatott kutatási stratégiát alkalmaztam. A szakirodalmi ismeretek áttekintése során két fő témakörre helyeztem hangsúlyt: egyrészt a közúti közlekedés által kibocsátott nehézfém szennyezés forrásait és terjedési folyamatait igyekeztem mélyrehatóan felderíteni, másrészt a külföldi csapadékvíz-lefolyás mérési programok eredményeit és módszertanát elemeztem. A tapasztalatok alapján dolgoztam ki saját mérési programjaimat és az általam kifejlesztett új mintavételi módszereket. Helyszíni vizsgálataim két fő pillérét az útburkolat, valamint az onnan lefolyó csapadékvíz szennyezettségének vizsgálata képezte; az utóbbi városi utakra és külterületi autópályákra is kiterjedt.

A mérések eredményei alapján azonosítottam a csapadékvíz lefolyás nehézfém terheléseit befolyásoló fő tényezőket, jellemeztem a száraz útburkolat nehézfém szennyezésének térbeli eloszlását, valamint pontosítottam a fékbetét kopásból származó részecskék aeroszol és ülepedő hányad közötti megoszlását. A megszerzett ismereteket szakirodalmi adatokkal ötvözve kidolgoztam egy hosszú távú, nagy térbeli léptékben alkalmazható nehézfém emisszió becslő és egy erre épülő lemosódás becslő módszert. Kifejlesztettem továbbá egy ezektől teljesen független, kisebb térbeli léptékben is alkalmazható eljárást a közutakról lefolyó csapadékvíz nehézfém szennyezettségének becslésére. A módszereket a különféle mért és becsült terhelések összehasonlításával értékelttem.



1. ábra. Az értekezésben érintett témakörök és kapcsolatrendszerük.

A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásai több különböző forrásból származnak. Az egyes források szerepe fémenként változik, de általánosságban elmondható, hogy ezek közül manapság a fékberendezések és gumiabroncsok futófelületének kopása a legjelentősebb. Az anyagvesztés mértéke számos tényezőtől függ, ezek közül a legfontosabbak: a jármű típusa (könnyű/nehéz); a fékbetétek rendkívül bonyolult és változatos anyagösszetétele; a lassítás mértéke, időtartama és gyakorisága; a gumiabroncsok szintén változékony összetétele és állapota; az útfelület anyagi minősége és érdessége; valamint a kanyarodások gyakorisága. Összességében tehát az anyagi minőség, a forgalom dinamikája és a vezetési stílus egyaránt jelentős hatással vannak a fékbetétek és a gumiabroncsok elhasználódására. A közúti közlekedés nehézfém kibocsátásainak fennmaradó hányadát az útfelület, illetve a burkolati felfestések kopása, a kipufogó emissziók, a járművek külső fém alkatrészeinek és a fémből készült „útbútorzat” (szalagkorlát, jelzőtáblák) korróziója, továbbá az elcsöpögő motorolaj nehézfém tartalma teszi ki.

A kibocsátott nehézfémek döntően szilárd részecskék formájában jutnak a környezetbe, melyek a mikron alatti portól a tízedmilliméteres darabokig bezárólag széles mérettartományt ölelnek fel. A nehezebb frakció rövid idő alatt kiülepszik a kibocsátás helyének közelében, a finom szemcseméretű aeroszol részecskék viszont huzamosabb ideig a levegőben tartózkodva forrásuktól jóval messzebb is eljuthatnak. Csapadékos időben újabb transzportfolyamatok lépnek fel. Ide tartozik a nedves kiülepedés, a mozgó kerekek által a burkolatot lefelszerűen borító vízrétegre kifejtett erőteljes nyomó- és szívóhatások okozta eltávolítás, valamint a járművek karosszériáján és az út szélén felgyülemlett anyagok lemosódása. A problémakör vizsgálatához tehát a burkolaton felhalmozódó és a csapadékvizek által lemosott szennyeződések tanulmányozása is szükséges.

Az útburkolaton összegyűlt szemcsés szennyeződés száraz időszakban történő terepi mintázásához akkumulátorról üzemeltethető magasnyomású vizes mosót használtam. Ennek előnye a szakirodalomból ismert locsolójárműves, illetve porszívós technikákkal szemben, hogy a mintavétel hatásmechanizmusa közel áll a mozgó járművek kerekei által csapadékos időben kifejtett szennyeződés-mobilizáló jelenséghez (a másik két említett módszer gyengébb eltávolítási hatásfoka miatt inkább a lefolyó víz szennyezés-mobilizáló hatásának reprezentálására alkalmas). Ezáltal nem csak a szennyeződés térbeli eloszlását lehet vizsgálni az útfelületen, hanem információt kaphatunk a gépjárműforgalom által potenciálisan lemosható mennyiségről is.

Az utakról lefolyó csapadékvízből kétféle módszerrel vettem mintákat. Az egyik a legkézenfekvőbb megoldásként alkalmazott surrantós mintavétel volt. Ennek hátránya – amit a szakirodalomban közzétett adatok is alátámasztanak – hogy a vízelvezető rendszerből történő csapadékvíz mintázás legtöbbször már a lefolyás közben bekövetkező transzport veszteségek által csökkentett lemosódást reprezentálja, ezért helyszínenként különböző, mindig az adott esetre jellemző értéket ad. Következésképpen az igen tág intervallumot lefedő szakirodalmi adatok értelmezése, valamint egymással való összehasonlítása is igencsak nehézkes. A

tapasztalatokra építve kutatásom részét képezte egy új megoldás kifejlesztése, mely kifejezetten a közúti csapadékvizek transzport veszteségek nélküli mintázását teszi lehetővé. Ez az ún. „mozgó járműves” módszer egy személygépkocsi kereke által az útburkolatról felvert víz mintázásán alapszik, így közvetlenül a csapadékvíz szennyeződésének kezdeti állapotáról szolgáltat információt. Az új módszerrel különböző csapadékesemények idején számos városi és külterületi gyorsforgalmi út felületéről gyűjtöttem mintákat. A hagyományos lefolyás mintázással összevetve az új, „mozgó járműves” módszer reprezentativitása igazolható volt.

A közúti forgalom nehézfém kibocsátásainak becslése nehéz feladat. A fékbetét és gumiabroncs kopás mértékét befolyásoló tényezők eredő hatásának leírása megoldatlan probléma, ráadásul a kopási folyamatok során képződő részecskék ülepedő és szálló por frakciók közötti megoszlása is csak nagy bizonytalansággal határozható meg. Ebből kifolyólag jelenleg nem lehet fizikai alapú modellt alkotni, alapvetően csak a szakirodalomban fellelhető empirikus fékbetét és gumiabroncs kopás adatokra támaszkodhatunk. Ezeket a fajlagos kibocsátási tényezőket jellemzően nagy bizonytalanság terheli, ezért csak nagy idő- és térbeli léptékben alkalmazhatóak (például országos, éves szinten). Kutatásom során kifejlesztettem egy ilyen típusú, emisszió és csapadékvíz lefolyás terhelés becslésre alkalmas, magyarországi körülményekre adaptált módszert, melynek bizonytalanságát terepi méréseim eredményeinek felhasználásával sikerült csökkenteni. A módszer alapján becsült országos értékek jól szemléltetik, hogy a városi gépjárműforgalom fajlagosan jóval erősebb szennyező forrás, mint az országúti forgalom. Az elméleti úton becsült felhalmozódás egyébként majdnem minden esetben megfeleltethető volt a terepen kimért nehézfém terheléseknek.

A száraz időszakban végzett terepi méréseim eredményei alapján pontosítottam az útburkolat felületére kiszóródó nehézfém tartalmú részecskék térbeli eloszlásával kapcsolatos ismereteket. Emellett sikerült számszerűsítenem az aeroszol részecske tartományba tartozó fékbetét kopástermékek nedves ülepedés révén a levegőből kimosódó hányadának felszáradás utáni nagyarányú visszakeveredését. Az utóbbi eredménynek két, gyakorlati szempontból is fontos következménye van. Egyrészt rámutat az úttisztítás időzítésének fontosságára, másrészt bizonyítja, hogy a csapadékvízzel lefolyó réz, antimon és fékbetét kopásból származó egyéb nehézfém terhelések döntő hányada finom szemcsemérete miatt nehezen ülepedő szuszpenziót képez, ami a lefolyó csapadékvízzel együtt mozogva deszorpció és oldódás nélkül is messzire eljuthat.

A csapadékvíz lefolyást érintő vizsgálataim eredményei alapján azonosítottam a nehézfém-szennyezettséget leginkább befolyásoló, a gyakorlatban is egyszerűen mérhető tényezőket, melyek: i) a csapadékkal egyidejűleg zajló forgalom, illetve ii) a csapadékot megelőző száraz időszak összegzett forgalma. Megállapítottam továbbá a városi jellegű (pulzáló), valamint folyamatos forgalommal terhelt utakról lefolyó csapadékvizek nehézfém koncentrációinak jellemző arányait. Ezek segítségével új, forgalmi adatokra épülő módszert alkottam az útburkolatról lefolyó csapadékvizek által a befogadók felé közvetített terhelés becslésére. Az eljárás előnye, hogy helyszín-specifikusan alkalmazható, tehát újonnan létesítendő utak vagy forgalomszervezési megoldások előzetes hatásvizsgálataihoz jobb alternatívát nyújt a fajlagos kibocsátási tényezőkre alapuló módszerrel szemben.

AZ EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

1. Tézis: Fajlagos emissziókra épülő módszert dolgoztam ki a közúti közlekedés által kibocsátott nehézfémek mennyiségének, valamint a kibocsátások csapadékkal lemosódó hányadának hosszú időtávú becslésére. A módszer használatát 2008-as magyarországi forgalmi adatok alapján demonstráltam. A fékbetét kopástermék kibocsátások csapadékkal lemosódó hányadát a csapadékvíz lefolyásban mért Cu/Zn arányok alapján 20-35%-ban határoztam meg, ami szűkebb intervallum, mint a szakirodalom által valószínűsített tartomány. Ezáltal a becslés bizonytalanságát sikerült csökkenteni. Az országos emisszió becslés eredménye a városi gépjárműforgalom kitüntetett szerepét igazolja: bár az összes forgalomnak csak mintegy negyede zajlik városi környezetben, a fékbetét kopás közel fele és a gumiköpeny kopás harmada itt következik be. [1]

2. Tézis: Két újfajta mintavételi eljárást fejlesztettem ki a közutak felületi szennyeződésének száraz, illetve csapadékos időben történő vizsgálatára. A mozgó járműves útfelületi csapadékvíz mintázás a hagyományos, vízelvezető rendszerből történő lefolyás mintázás alternatívája. Előnye hogy bármilyen helyszínről transzport veszteségek nélkül gyűjthetünk vele közúti csapadékvíz mintákat, továbbá hogy egy-egy csapadékesemény alatt egy járművel több helyszíni vizsgálata is megoldható. A nehézfém koncentrációk abszolút értékeinek és egymáshoz viszonyított arányainak elemzésével igazoltam, hogy a mozgó járműves mintázás a hagyományos módszerre nézve reprezentatív. A nagynyomású mosóval végzett porminta gyűjtés előnye, hogy segítségével száraz időszakban is előidézhető a mozgó járművek kerekei által az út felületén lévő szennyeződések csapadékos időben kifejtett mobilizáló hatása, ezáltal tanulmányozható a potenciálisan lemosódó nehézfém szennyeződés mértéke és annak térbeli eloszlása. [2,5]

3. Tézis: Mérésekkel kimutattam, hogy az útburkolatra lerakódó forgalmi eredetű nehézfémek felületi terhelésének térbeli eloszlása két jellemző csoportba sorolható, ami elsősorban a kibocsátó források különbözőségéből fakad. A szinte kizárólag fékbetét kopásból származó réz, antimon, illetve ólom terhelés: i) arányos a fékezések gyakoriságával; ii) száraz időszakban is mobilizálódik; iii) jellemzően az útpadka mentén gyűlik össze; iv) a padkától az út belseje felé haladva lecsökken a háttér értékre; v) az út keresztmetszetében kialakuló gradiens a légmozgások általi transzport erőssége és térbeli egyenletessége függvényében változik. Az elsődlegesen gumiköpeny gördülési kopásból származó cink és kadmium terhelés: i) a fékezések gyakoriságától kevésbé függ; ii) száraz időszakban csak kis mértékben mobilizálódik; iii) jellemzően az útburkolat felületéhez kötődik; iv) egyenletesebben oszlik el az út keresztmetszetében; v) jellemzően magasabb a háttér értéknél. [5]

4. Tézis: Városi helyszíneken végrehajtott mérésekkel kimutattam, hogy az útburkolatról lemosott iszap állagú hordalék fékbetét kopásból származó réz és antimon tartalmának a felszáradást követően csak $27\pm 9\%$ -a, illetve $28\pm 16\%$ -a marad meg az útpadka melletti porban. Ezek az arányok jó egyezést mutatnak az 1. Tézis fékbetét kopástermékek lemosódására vonatkozó megállapításával. A hiányzó hányadot olyan, levegőből kimosott aeroszol részecskék teszik ki, melyek a burkolaton visszamaradó nedves por kiszáradását követően, természetes és járművek által előidézett légmozgások általi felkeveredés révén visszakerülnek a légkörbe. A jelenségből fontos gyakorlati következtetések vonhatók le: i) közvetlenül csapadékesemények után végzett, kis szemcseméret tartományban is hatékony úttisztítással jelentős nehézfém terheléstől mentesíthető a városok levegője; ii) a csapadékvízzel lefolyó réz, antimon és fékbetét kopásból származó egyéb nehézfém terhelések döntő hányada finom szemcsemérete miatt nehezen ülepedő szuszpenziót képez, ami a vízzel együtt mozogva deszorpció és oldódás nélkül is messzire eljuthat. [5]

5. Tézis: Autópályák és városi utak felületéről lefolyó csapadékvíz minták elemzésével igazoltam, hogy a városi gépjárműforgalom nehézfém kibocsátása magasabb. A két mintacsoportban megfigyelt nehézfém koncentrációk átlagos aránya (város/autópálya) fémtípusonként eltérő: cink, réz és ólom esetében rendre $1,6\pm 0,2$; $2,5\pm 0,4$ és $2,7\pm 0,4$. Az eltéréseket a forgalom dinamikájának és az egyes fémek forrásainak különbözősége okozza. Városi jellegű forgalomban intenzívebb a fékbetétek kopása, így a réz és ólom emisszió is, mint az autópálya forgalomban. A gumiabroncsok kopása viszont egyenletes haladás során is fellép, a városi és autópálya forgalom cink kibocsátásai közötti különbség ezért kisebb, mint a fékbetéthez köthető fémek esetében. A közúti csapadékvizek réz és cink tartalmának aránya tehát a forgalom dinamikájának jó indikátora. Méréseimmel megállapítottam, hogy a Cu/Zn arány városi jellegű forgalommal terhelt utakról lefolyó csapadékvizekben $0,36 (\pm 0,07)$, szemben az autópályákon tapasztalt $0,23 (\pm 0,05)$ értékkel. [1,2]

6. Tézis: Útburkolatról származó csapadékvizek vizsgálata alapján összefüggéseket állítottam fel a folyamatos forgalommal terhelt autópályák és a pulzáló forgalommal terhelt városi utak felületéről lefolyó csapadékvizek cink, réz és ólom esemény-átlagkoncentrációi, valamint a kibocsátásokat befolyásoló két legfontosabb tényező: a csapadékesemény alatti aktuális forgalom és a csapadékeseményt megelőző száraz időszak összegzett forgalma között. Az összefüggéseket érvényességi intervallumukon belül használva csapadék lefolyás és forgalmi adatok ismeretében a közúti csapadékvizek cink, réz és ólom terhelése egy-egy konkrét helyszínen is megbecsülhető. [3]

HIVATKOZOTT IRODALOM

- Bergbäck B, Johansson K, Mohlander U. Urban Metal Flows – A Case Study of Stockholm. Review and Conclusions. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 2001;1(3-4):3-24.
- Buzás K, Somlyódy L. Impacts of road traffic on water quality. *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.* 1997;41(2):95-106
- Councell TB, Duckednfield KU, Landa ER, Callender EC. Tire-Wear Particles as a Source of Zinc to the Environment. *Environmental Science and Technology* 2004;38(15):4206-4214.
- Göbel P, Dierkes C, Coldewey WG. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 2007;91(1-2):26-42
- Hjortenkrans DST, Bergbäck BG, Häggerud AV. New Metal Emission Patterns in Road Traffic Environments. *Environmental Monitoring and Assessment* 2006;117(1-3):85-98
- Hulskotte JHJ, Denier van der Gon HAC, Visschedijk AJH, Schaap M. Brake wear from vehicles as an important source of diffuse copper pollution. *Water Science and Technology* 2007;56(1):223–231.
- Kiss T, Vidovenyecz V. Szeged környezeti terhelésének vizsgálata a fák évgűrűiben és a levélen mért ülepedő por nehézfém-tartalma alapján. In: Csorba P, Fazekas I (ed.) *Tájkutatás - tájökológia*. Debrecen: Meridián Alapítvány, 2008. pp. 423-431. (ISBN:978-963-06-6003-7)
- Naszradi T. A közúti járműforgalom nehézfém-szennyező hatása az utak melletti talajra és növényzetre. Doktori (PhD) értekezés, 2007.
- Salma I. Tendenciák a városi levegőminőség alakulásában. *Magyar Tudomány*, 2010 március.
- Sternbeck J, Sjödin AA, Andréasson K. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension – results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment* 2002;36(30):4735-4744
- von Uexküll O, Skerfving S, Doyle R, Braungart M. Antimony in brake pads-a carcinogenic component? *Journal of Cleaner Production* 2005;13:19–31.

BUDAI PÉTER PUBLIKÁCIÓI (2005-2011)

Idegen nyelvű, referált folyóiratcikkek

1. **Budai P.** és Clement A. (2011) *Refinement of national-scale heavy metal load estimations in road runoff based on field measurements*. *Transportation Research Part D*, Vol. 16, No. 3, pp. 244–250.
2. **Budai P.** és Clement A. *A novel approach for road runoff sampling*. *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.* Közlésre elfogadva.

3. Buzás K., **Budai P.** és Clement A. (2008) *Contamination and treatment of highway runoff*. Pollack Periodica, Vol. 3, No. 3, pp. 79–89.
4. **Budai P.** és Clement A. (2007) *Estimation of nutrient load from urban diffuse sources: experiments with runoff sampling at pilot catchments of Lake Balaton in Hungary*. Water Science and Technology, Vol. 56, No. 1, pp. 295–302.

Magyar nyelvű folyóiratcikkek

5. Buzás K. és **Budai P.** (2011) *Burkolt útfelületek nehézfém szennyezettsége*. MaSzeSz Hírcsatorna, 2011/3-4, pp. 15-21.
6. Buzás K. és **Budai P.** (2008) *Az autópályákról és nagyforgalmú közutakról lefolyó csapadékvíz TPH szennyezettsége*. MaSzeSz Hírcsatorna, 2008/3-4, pp. 9-15.

Konferencia kiadványok

7. **Budai P.** és Buzás K. (2007) *Highway runoff characterization in Hungary*. Proceedings of the 11th International Conference on Diffuse Pollution, Belo Horizonte, August 26-31 (CD).
8. **Budai P.** (2007) *Közúti csapadékvizek szennyezettségének vizsgálata*. In: Doktori kutatások a BME Építőmérnöki karán. ISBN 978-963-421-449-6.

Gyűjteményes kötetben megjelent cikkek

9. Clement A., **Budai P.** és Fetter Éva (2006) *A Balatonba torkolló vízfolyások által közvetített, települési eredetű diffúz tápanyagterhelések meghatározása*. In: A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. MTA, Budapest. ISSN 1419-1075.
10. Buzás K., **Budai P.**, Clement A., Simonffy Z. és Tombor K. (2005) *A Balatonba torkolló vízfolyások által közvetített, települési eredetű diffúz tápanyagterhelések meghatározása*. In: A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. MTA, Budapest. ISSN 1419-1075.

Kutatási jelentések

11. Buzás K. és **Budai P.** (2007) Laboratóriumi, szűrési kísérlet az autópályákról lefolyó csapadékvízben található TPH, nehézfémek és PAH visszatartásának meghatározására. Kutatási jelentés, ÖkoTech, Budapest.
12. Buzás K. és **Budai P.** (2006) A forgalom szerepe az autópálya-lefolyás TPH szennyezettségében. MaSzeSz, Budapest.
13. Buzás K. és **Budai P.** (2006) Javaslat a monitoring rendszer egységesítésére és a környezeti hatások becslésére szolgáló vizsgálatokra az autópálya-lefolyások esetében. MaSzeSz, Budapest.