



Dr. Buzás Kálmán

A KÖZÚTI KÖZLEKEDÉS HATÁSA A FELSZÍNI CSAPADÉKVÍZ-LEFOLYÁS SZÉNHYDROGÉN SZENNYEZETTSÉGÉRE

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Témavezető:

Somlyódy László
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Budapest
2009

1. Bevezetés, a kutatás előzményei

A közlekedési eredetű vízszennyezés kutatása hosszú múltra tekint vissza. Már a múlt század utolsó három évtizedében megjelentek olyan kutatási eredmények (*Sartor és Boyd, 1972, Shaheen, 1975, Kobriger, 1984, Kramme, 1985, Hahn, 1990, Novotny, 1995*), melyekben a városi belterületek és az autópályák szennyezettségét, és ezen felületek emissziós forrásként való hatását tárgyalták. Erre az időszakra esik az ilyen szennyezések elleni védelem első szabályozási kísérlete is (*Council Directive, 05/04/1976 és 12/17/1979*). Már ezek a kezdeti kutatások is kimutatták, hogy a belterületi utak jellemző szennyezőanyagai különböznek a külterületi, elsősorban a gyorsforgalmi utak és autópályák szennyezőitől. Előbbiekben az összetettebb területhasználat miatt olyan szennyezőanyagok is megjelennek, amelyek az utóbbiakról hiányoznak (*McElroy et al., 1989*).

A közlekedő gépjárművek számos, nagyrészt toxikus szerves és szervetlen mikroszennyezőt juttatnak a környezetbe, melyek különböző transzmissziós pályákon eléri a felszíni és a felszín alatti vizeket. A Víz Keretirányelv az emittált szennyezők némelyikét az elsőbbségi (veszélyes) anyagok körébe sorolja, és csak alacsony immisziós koncentrációjukat engedélyezi a befogadóknak. Ide tartoznak az értekezés tárgyát képező egyes policiklikus aromás szénhidrogén-féleségek is. A tárgyalt másik szennyező, az alifás szénhidrogének csoportja pedig közismerten kedvezőtlen hatással jár a vízi környezet élővilágára és korlátozza a víz emberi fogyaszthatóságát is.

Az elmúlt évtizedben új autópályák száz kilométerei épültek, keresztezve vízfolyásokat és sérülékeny felszín alatti víztartókat. A környezetvédelmi engedélyezési gyakorlat számára azonban nem áll rendelkezésre olyan jogszabály, melyben a csapadéklefolyással szállított szennyezők megengedhető határértékei tudományosan megalapozott kutatásokon alapulnak. A pályákról lefolyó csapadékvízben a megengedett TPH koncentrációt, a vonatkozó jogszabályok és a lefolyás szennyezettségére vonatkozó ismeretek hiánya miatt az egyes területi hatóságok különbözőképpen határozták meg. Az előírások alapja a 28/2004.(XII.25.), a vízszennyező anyagok kibocsátására vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szóló KvVM rendelet. A rendelet folyamatos kibocsátással jellemezhető tevékenységekről szól. Alkalmazása a csapadékeseményekhez kötődő emissziók esetén több tekintetben kérdéses, a szennyezettség jelentkezésének és mértékének nagyfokú változékonysága, valamint az ellenőrizhetőség nehézségei miatt. Nem egységes az autópályáknál gyakran kínáló lehetőség, a talaj-talajvíz befogadóba való elhelyezés megítélése sem. A közlekedési eredetű PAH emissziót a hazai gyakorlatban nem szabályozzák.

A fentiek miatt a vízelvezetés tervezői nehezen megoldható feladattal szembesültek a szennyezettség várható, forgalomfüggő értékeinek és a csökkentés műszaki megoldásainak tervezési paraméterei hiányában. A gyakorlatban, ha az engedélyező hatóság egy felszíni befogadóba vezetéskor elfolyó határértéket írt elő, a tervező a

piacon rendelkezésre álló olajfajok valamelyikét tervezte be. Ezek leválasztási hatékonyságát azonban a szélsőségesen változó hidraulikai és szennyezettségi feltételekre egyik fél sem vizsgálta. Eredményként többségében a környezeti hatékonyság szempontjából kérdéses, és drága megoldások keletkeztek.

2. Az értekezés tematikus lehatárolása és célkitűzései

Az útburkolatról lefolyó vizek az inert lebegőanyagtartalom mellett a kémiai és biológiai szennyezők széles körét tartalmazzák, a forgalomtól és csapadéktól függően változó koncentrációkban, illetve egyedszámban. A környezetvédelmi hatósági engedélyezési gyakorlata jelenleg ezek közül az ásványolaj (TPH – Total Petroleum Hydrocarbon) koncentrációjára ad előírásokat. Az értekezés, az eredmények alkalmazását is szem előtt tartva a csapadékvíz-lefolyás közúti közlekedés eredetű szennyezését és a szennyezők eltávolítását elsősorban a szénhidrogének (TPH és PAH-ok) vonatkozásában tárgyalja.

Az autópályák környezeti hatása, ezen belül a felszíni és felszín alatti vizeket érő szennyezés nemzetközi szinten egyike a szakemberek és a hatóságok által egyaránt kiemelt fontosságúnak tekintett diffúz szennyezési formának, amire azonban itthon a legutóbbi időkhöz nem folytak rendszerezett kutatások. A hatósági engedélyezési gyakorlat nem rendelkezik tudományosan is megalapozott jogszabállyal, miközben igen gyors ütemben épültek, épülnek új autópályák. A vízvezetés tervezői számára pedig, a szennyezettség csökkentését is magába foglaló, elfogadott méretezési elvek nincsenek.

Kutatásunk gyakorlati célja a vízminőségvédelmi létesítmények tervezésének és a létesítmények engedélyezésének megalapozása volt. Olyan módszer kidolgozása, ami az úttervezés egyik műszaki alapparamétere, a forgalom, és a vízminőségvédelem szabályozási paramétere, a TPH koncentráció és/vagy TPH emisszió között tudományosan megalapozott, a hatótényezők előfordulásának valószínűségi jellegét figyelembe vevő kapcsolatra épül.

Az értekezés célkitűzéseként az alábbi feladatokat határozzuk meg:

- A közúti csapadékvizek vízminőségi jellemzőinek feltárását szolgáló mintavételi módszer kifejlesztése és alkalmazása kiválasztott mintaterületeken;
- A lemosódás folyamatának kísérletes (mérési) és modell számítással történő elemzése;
- A lefolyás szennyezettsége, a szennyezők közötti kapcsolat feltárása, és ezek függése a kiváltó csapadék esemény és a forgalom jellemzőitől, a kísérleti eredmények kiértékelése hazai és nemzetközi tapasztalatok alapján;
- A felszíni lefolyás közúti közlekedés eredetű szénhidrogén szennyezettségének számítása, a befolyásoló tényezők meghatározása;

- A lemosódásból származó szennyezőanyag terhelés csökkentését szolgáló módszerek értékelése, a kezelési módszerek (ülepités, szűrés) hatékonyságának tesztelése és összehasonlítása laboratóriumi kísérletekkel;
- Az útpályákról lefolyó vizek tározásos tisztítására szolgáló létesítmények tervezési alapjainak kidolgozása;

Kiemeljük, hogy az eredményeket a folyamatos közlekedésre szolgáló útfelületekről származó szennyezés esetében érvényesnek. A parkolókról és a rendszeres parkolás miatt a belterületi utakról a TPH más fizikai formában mosódik le, ezért eltávolíthatósága is eltérő!

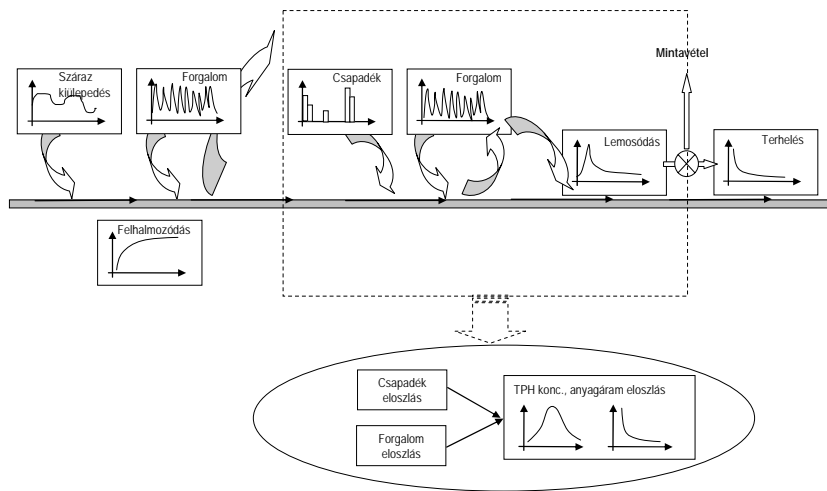
3. A kutatás módszere

A szakirodalom valamennyi szennyezőanyagra vonatkozóan nagy, esetenként egy-két nagyságrendet is elérő tartományban változó szennyezettségekről számol be, jelezve az összetett folyamatok és a mintavételezési, illetve analitikai megoldások meghatározó szerepét a nyerhető információk megbízhatóságában (Kayhanian et al, 2001, Barrett, 1998, Zakharova and Wheatley, 2007). A publikált eredményeknek csekély részéről tudható, hogy a levezető rendszeren belül hol, továbbá milyen forgalmi és csapadékviszonyok esetén vették a mintákat.

Az értekezésben tárgyalt környezetszennyezési folyamat bonyolult, melyet két fő szakaszra bonthatunk: (i) a közlekedési és egyéb eredetű, de a közlekedési pályát érő szennyezőanyag kibocsátások és azok felhalmozódása az útburkolaton csapadékmentes időszakokban, és (ii) a szennyeződött burkolat, valamint a csapadék idején zajló forgalom, mint emissziós forrás által kibocsátott szennyezők terjedése a csapadéklefolyás transzmissziós útvonalán. Ha valamennyi, egyébként lényeges paraméter szerepét helyszíni mérésekre alapozva akarnánk pontosítani igen kiterjedt, sok helyszínen, hosszú ideig végzett mérési programra lenne szükség. A kérdéses komponensek (TPH és PAH-ok) meghatározására szolgáló analitikai módszerek azonban igen drágák. Belátható tehát, hogy reálisan nincs lehetőség a költség-, és az időigény miatt kellő számú mérést végezni és statisztikailag elégséges számú, értékelendő adathoz jutni.

Ezért szükség van olyan módszertani megfontolásokra, amelyek kevesebb információból is lehetővé teszik a jelenség elfogadható, mérnöki elemzését. Értekezésünkben a közúti közlekedés eredetű szénhidrogén terhelés alapfolyamatainak tervezési paraméter szintű leegyszerűsítése törekedtünk (1. ábra).

A lefolyás szennyeződésének tanulmányozásához 2005-2007 között az M0 és M7 autópályák egy-egy szelvényében mintavételi programot hajtottunk végre. A lefolyó csapadékvizek folyamatos mintavételezéséhez szekventált sorozatminta gyűjtésére alkalmas eszközt fejlesztettünk ki.



1. ábra. A közúti közlekedés eredetű diffúz terhelés alapfolyamatai és annak tervezési paraméter szintű leegyszerűsítése

A meteorológiai jellemzőket (csapadék, szél, hőmérséklet és páratartalom) a mintavételei helyszínre telepített automata állomásunkkal folyamatosan regisztráltuk. A mérési időszakra az Állami Autópálya Kezelő Zrt. M0 diósi automata forgalom számláló állomásának adatai rendelkezésünkre álltak.

A mintavételezés közvetlenül a pályaburkolatról lefolyó vízből történt, a töltésben vezetett út rézsújében található surrantóból. Ezzel ki lehetett zárni az elvezető rendszer helyi sajátosságainak a szennyezettséget befolyásoló hatását, és az eredmények a pályaburkolat emissziójaként általánosíthatók.

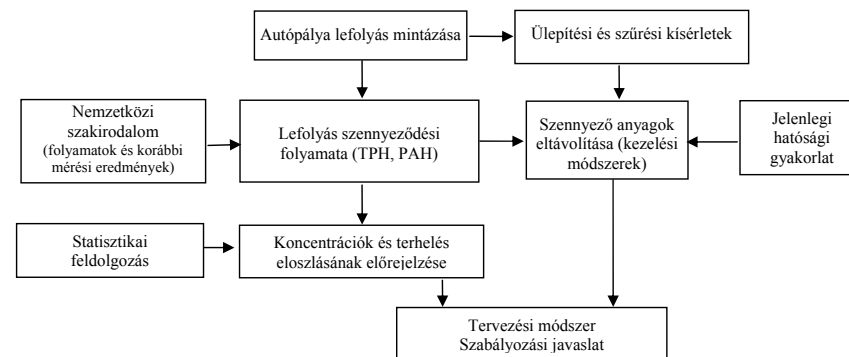
A vízmintákból a következő paramétereket határoztuk meg: fajlagos vezetőképesség és pH, összes lebegőanyag, kémiai oxigénigény (KOI), összes alifás szénhidrogén (TPH), 17 féle poliaromás szénhidrogén (PAH). A TPH és PAH komponensek analízise akkreditált laboratóriumban, a többi a tanszéki laboratóriumban, a magyar szabványoknak megfelelően történt.

A diffúz szennyezés egyik fontos sajátossága, hogy a terhelés sztochasztikus, időben és térben is változik. Ezért a lefolyás szennyezettségének jellemzésére a pillanatnyi koncentrációk nem alkalmasak. A pillanatnyi értékek helyett, a különböző területeken végzett mérések összehasonlíthatósága érdekében az irodalom az esemény átlagkoncentrációt használja.

A lefolyás vízhozam idősorát az USA EPA SWMM szoftverével számítottuk a csapadék és a vízgyűjtőterület adataiból. A mintavételező palackok töltődési idejének ismeretében meghatározható volt, hogy a lefolyási hullám mely részeinek

szennyezettségét reprezentálja egy-egy palack tartalma. Ezekből a teljes lefolyás átlagos koncentrációja, az esemény átlagkoncentráció már számítható volt.

Az értekezésben tárgyalt főbb témaköröket, és azok egymáshoz való kapcsolódását a 2. ábra mutatja.

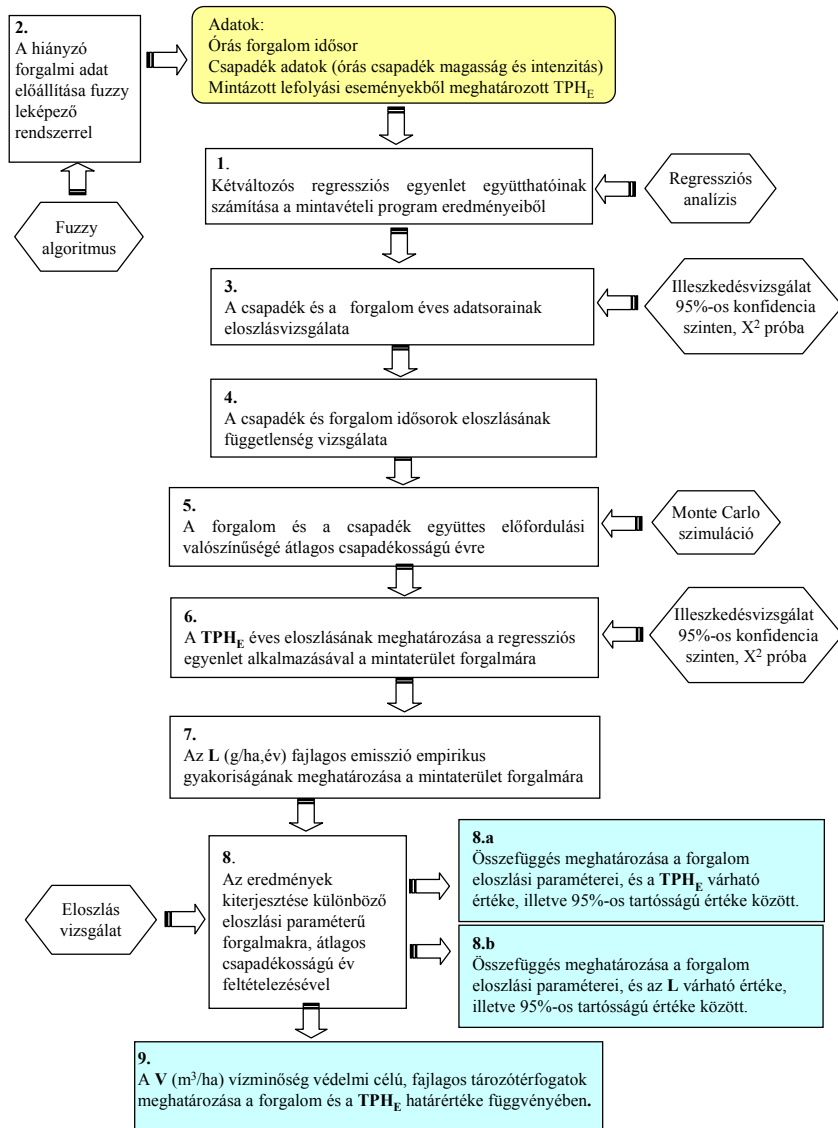


2. ábra. Az értekezés által tárgyalt témakörök

Az elemzések célja a folyamatos közlekedésre szolgáló útfelületekről lefolyó vizek TPH koncentrációjának számítására alkalmas eljárás kidolgozása volt. A feltárt összefüggések alapján emellett a fajlagos (az autópálya egységnyi területéről származó) emisszió és az éves fajlagos emisszió is számíthatóvá vált. Továbbá, a koncentrációk ismeretében meghatároztuk a vízminőségvédelemhez szükséges fajlagos tározótérfogatokat is. A mintavételezési adatok feldolgozásához statisztikai módszereket alkalmazunk: (i) kétváltozós lineáris regresszió számítások; (ii) eloszlás vizsgálat X^2 próbával; (iii) Monte Carlo szimuláció az együttes valószínűség meghatározására és érzékenység vizsgálatra; (iv) hiányzó adatok pótlása fuzzy algoritmussal. A feldolgozás lépéseit a 3. ábra mutatja be.

Gyakorlati eredményként javaslatokat állítottunk össze a környezetvédelmi hatóság számára azokról (i) az elfogadható műszaki megoldásokról, melyek elegendő védelmet nyújtanak a befogadóknak az autópályákról származó szennyezések ellen, és (ii) azon paramétereikről, amelyeket a létesítménynek a terv elfogadásához teljesíteni kell.

A helyszíni mintavételezéssel párhuzamosan laboratóriumi kísérleteket is végeztünk a TPH, PAH és a lebegőanyag eltávolíthatóságára. Két tisztítási technológiát, az ülepítést és a szűrést vizsgáltuk. A szűrési programban háromféle szűrőközeget alkalmaztunk: (i) oleofil duzzasztott perlit, (ii) koaleszcenz szűrőbetét és (iii) homok. A kísérletekhez a lefolyás-mintákat kevertük, ezáltal egy átlagosan szennyezett, a folyamatos közlekedésre szolgáló útpályákról lefolyó vizek összetételét reprezentáló elegyet kaptunk.



3. ábra. A csapadék, forgalom és TPH mérési eredmények feldolgozásának főbb lépései

4. Az eredmények rövid összefoglalása

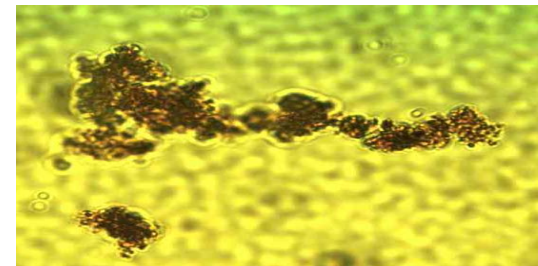
Méréseink azt mutatták, összhangban a szakirodalmi információkkal, hogy a burkolatról lefolyó vízben a TPH mellett jelentős mennyiségben található PAH-ok és nehézfévek is (utóbbiak nem képezték az értekezés tárgyát). Mintavételezési módszerünk lehetővé tette, hogy a szennyezettség egy lefolyáson belüli változását is figyelembe vegyük. A koncentrációk egy-egy csapadékesemény során változnak, de határozott, kezdeti nagy koncentráció-növekmény, az ún. „first-flush” jelenség, a lebegőanyag kivételével és ellentétben a városi lefolyásokkal, sem a TPH-ra, sem pedig a PAH-okra nem volt jellemző.

4.1 A lefolyás TPH szennyezettségének jellemzése

Az útpálya felszínén megjelenő, és a lefolyásba kerülő TPH forrásaként a (motorolaj) kenőolaj nevezhető meg. Erre utalnak a minták GC analízisei, melyek a legnagyobb arányban a C₂₈ szénatomszámú komponens jelenlétét mutatják.

A csapadékmentes időszak forgalma során a járművek TPH emissziója, és a felületi felhalmozódás folyamatos. Ezzel egyidőben azonban eltávolítási folyamat is zajlik: a járművek mintázott kerekei a gördülés során nagy nyomásváltozással és sebességgel jellemezhető levegőáramlást hoznak létre az útfelület és a kerék járatrendszere között, ami ezeket az olajos részecskéket képes az útról leszakítani, és a levegőbe emelve a környezetbe emittálni.

Ahhoz, hogy ezek a részecskék a felszínről lemosódjanak, a csapadéknál keltett energiánál nagyobbra van szükség, amit a csapadék idején haladó járművek kerekei biztosítanak. A nagysebességű haladás során az abroncs mintázatának járataiban, pontosabban annak belépési és kilépési oldala között igen nagy nyomáskülönbség lép fel. A homlok fronti, torlódásból keletkező túlnyomás a hátsó kilépési oldalon légköri nyomásba megy át. Mindeközben a járatokban a felszíni vízfilm nagy sebességgel áramlik. A nagy áramlási sebesség és nyomáscsökkenés felszívja és ezzel leválasztja a felületre tapadt olajos szennyeződést, majd vízpermet formájában a levegőbe emeli. Ezzel lehetővé válik azok bekerülése a lefolyásba. Az így lemosódó olaj nem alkot emulziót.



A képen látható felvétel 400-szoros nagyítással készült. A nagyobb részecske hosszmérete $\approx 15\mu\text{m}$, a kisebbiké $\approx 2\mu\text{m}$. A felvételen látható egyéb mintázat a nem tökéletesen sík tárgylemez miatt jelentkezett. Az apoláros színezék (safranin), megjelölte, hogy hol helyezkedik el a színezéket oldó olaj. Látható, hogy az olaj mikron nagyságrendű cseppjei a még kisebb szilárd, valószínűsíthetően gumiabroncs és

aszfalt morzsalék-szemcsék, valamint a PAH-ok aeroszol részecske méretű szemcséinek felületére tapadnak, illetve azokkal pelyhes agglomerátumot alkotnak. Ezért az oleofil anyagok TPH eltávolító hatása nem jelentkezik, hiszen az olaj nem érintkezik azok felületével. Hasonlóképpen csekély a koaleszcensz szűrők hatékonysága, mert olajcseppek hiányában a koaleszcencia jelensége nem lép föl.

Összefoglalóan tehát arra a következtetésre juthatunk, hogy a TPH-t tartalmazó nagy adszorbeáló felületű finom lebegőanyag (kvázi-kolloid tartomány) lemosódásában, a csapadék idején zajló forgalomnak van meghatározó szerepe.

4.2 A lefolyásban előforduló PAH félésegek és forrásaik

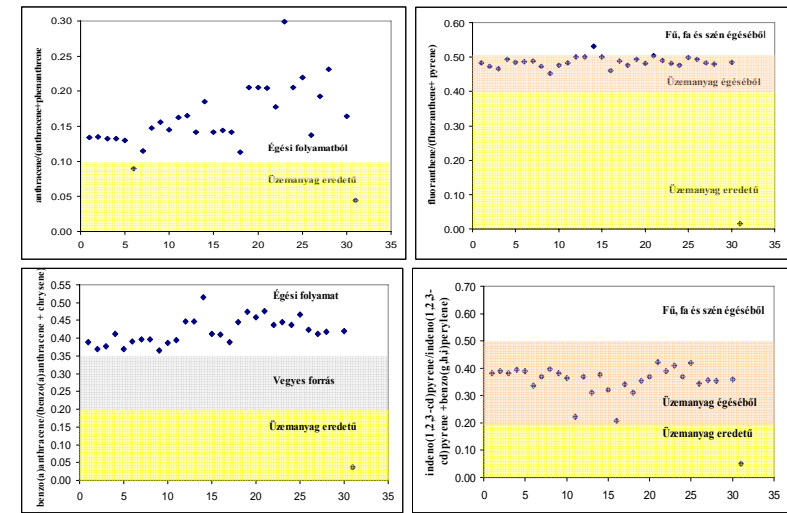
A policiklikus, aromás szénhidrogének esetében jellemző a kisebb molekulású, (2-3 gyűrűs), kevésbé stabil PAH-félésegek csekély aránya. A szakirodalom és a saját vizsgálataink alapján a lemosódó PAH-ok lehetséges forrásai a légköri kihullás, az útburkolara kiszóródó kenőolaj, az aszfalt burkolat és gumiköpeny morzsaléka, valamint a kipufogógázok (Boonyatumanond et al, 2007). (Boonyatumanond et al, 2007, Kim et al, 2005, Yunker et al, 1996). A lefolyás szennyezettségét okozó folyamatok azonosítására az üledékeknél alkalmazott módszert követtük, melynek lényege a jellemző PAH-félésegek arányainak kimutatása.

A lefolyások PAH tartalmát az égési folyamatok emissziói határozzák meg (3. ábra). A kiszórt kenőolaj és az egyéb háttérszennyezés szerepe elhanyagolható. Megállapítható volt, hogy a fő, csaknem kizárólagos forrás a közlekedő járművek által kibocsátott üzemanyag-korom. Ezzel magyarázható a gyenge a korrelációs kapcsolat a lefolyás TPH és PAH koncentrációja és a nagyobb korrelációs tényező a lebegőanyag és a PAH koncentrációk között.

4.3 A TPH koncentráció és emisszió éves eloszlása, a vízminőség védelmi tározó térfogatának meghatározása

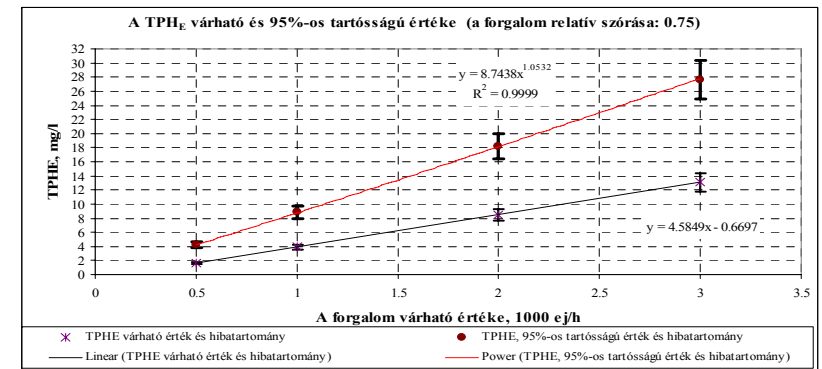
A lefolyás események TPH_E esemény átlag koncentrációját befolyásoló tényezők közül meghatározó a csapadék magassága és a forgalom nagysága. A csapadékot megelőző száraz időszak hosszának, valamint a csapadék intenzitásának, legalábbis az általunk vizsgált esetben nem volt kimutatható hatása.

A mérési eredményekből kétváltozós lineáris regresszióval empirikus összefüggést állítottunk fel a lefolyási eseményhez tartozó TPH_E (mg/l) koncentráció meghatározására, a lefolyást kiváltó csapadék magassága (H, mm) és a csapadék idején zajló, óránkénti egységjármű-számban kifejezett forgalom intenzitása (J, ej/h) függvényében. Az ÁAK ZRt. által mért forgalmi idősor hiányos volt. Így hiányzott a mintavételeinkhez tartozó egyik forgalmi adat is. A korlátozott adatszám miatt a pótlásnak nagy jelentősége volt, amire a korábban vízminőségi idősor adathiányának pótlására sikeresen alkalmazott fuzzy leképező algoritmust alkalmaztuk (Buzás, 2001).

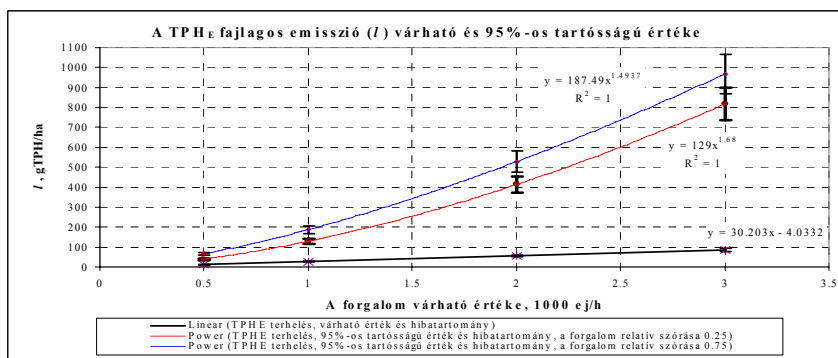


4. ábra. Az autópálya-lefolyásból kimutatott PAH-ok forrása

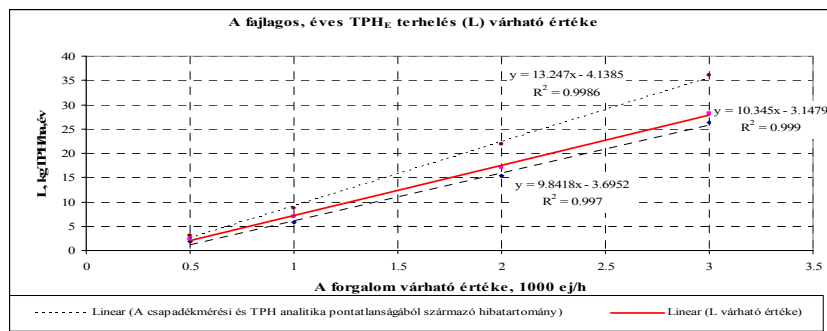
A lefolyást jellemző koncentrációk és emissziók éves eloszlásának meghatározásához több lépésből álló számítási eljárás alkalmazásával jutottunk el (3. ábra). Az eredményeket az 5-7. ábrákon mutatjuk be. Ezek alapján tervezési nomogramokat készítettünk az un. vízminőségvédelmi célú tározók méretezésére (példaként a 8. ábrán mutatunk be egyet). Az ilyen tározó térfogata az a legkisebb térfogat, amely még elegendően nagy valamennyi, a határértéket meghaladó koncentrációjú lefolyás befogadásához.



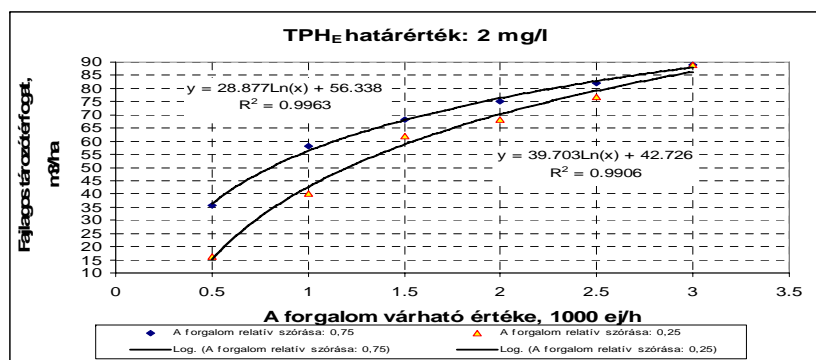
5. ábra: A TPH_E várható és 95%-os tartóssági koncentrációja (a forgalom 0.75-ös relatív szórás esetén)



6. ábra: Az l , fajlagos terhelés várható és 95%-os tartósságú értékei a forgalom várható értékének függvényében



7. ábra: Az L , (kgTPH/ha,év) fajlagos, éves emisszió átlagértékének változása a forgalom eloszlásának várható értéke ($E(J)$) függvényében



8. ábra. Fajlagos tározótérfogat igény a szabályozási határérték 95%-os valószínűségű betartásához a forgalom eloszlási paramétereinek függvényében

5. Az eredmények gyakorlati hasznosítása

Eredményeink alapján javasoljuk, hogy a hatósági szabályozás emissziós határértéke az autópálya lefolyásoknál, felszíni befogadó esetében az esemény átlagkoncentráció 95%-os valószínűségű értékére vonatkozzon (5. ábra). A tervező vegesse figyelembe a befogadóig vezető árokrendszer TPH visszatartó hatását, ami az 5. ábra szerinti, a pályaburkolatról származó szennyezettség mértékét csökkenti. Megfelelően méretezett, füvesített árok esetében a csökkentés mértéke 60%, míg burkolt árokrendszerrel legfeljebb 20%.

Ha a csökkentési lehetőség kihasználása után is határérték feletti koncentráció adódik, a tisztításhoz szükséges vízminőségvédelmi célú tározó méretezésében a 8. ábra szerinti nomogramok segítik a tervezőt abban, hogy a hatósági előíráshoz megfelelő műszaki tervet készítsen. Az így méretezett tározó, átlagos csapadékosságu évben képes az előírások betarthatóságát 95%-os előfordulási valószínűséggel biztosítani.

Ha a terv műszaki tartalma pedig szikkasztó-szűrő tározó, a vízminőségvédelmi szempontból szükséges minimális térfogat az elvezetésbe bevont autópálya szakasz felületének ismeretében, ugyancsak a 8. ábra szerinti nomogramokból határozható meg. Kiemeljük, hogy ez a térfogat a minimális, és meghatározása nem helyettesíti a létesítendő tározó vízforgalmának elemzését, melynél a térség párolgási és beszivárgási jellemzőit is értékelni kell. Ha utóbbi nagyobb térfogatot igényel, azt kell figyelembe venni.

A kísérleti eredmények gyakorlati hasznosítása három tervezési és üzemeltetési célú megállapításban foglalható össze:

- (i) A talaj és a talajvíz TPH és PAH szennyeződése ellen megbízható és elegendő védelmet nyújtanak a legalább 20 cm vastag homokszűrő réteggel ellátott szikkasztó-szűrő tározók. Az elegendő átteresztőképességű homok, homokos iszap talajú térségekben létesítendő szikkasztó tározók a fenékszint alatti, 20 cm-nél mélyebben fekvő földtani közeget már nem szennyezik. A talajvíz védelme ugyancsak megvalósul, tekintettel arra, hogy biztonsági okból annak szintje az ilyen tározók fenékszintje alatt legalább 1 m-rel kell, hogy legyen.
- (ii) A szűrőréteg élettartamának növelése érdekében a tározók elé burkolt ülepítő teret kell építeni. Az ülepítési kísérletek eredménye szerint az ülepítő tározóban a mértékadó, egy éves gyakoriságú lefolyás okozta hidraulikai terhelésre, a szükséges tartózkodási idő a félóra és egy óra között legyen.
- (iii) A tározó szikkasztó és szűrőképességének kimerülése a kolmatáció miatt a felső, technikailag még megoldható, legvékonyabb réteg (≈ 10 cm vastagságú) eltávolításával és pótlásával helyreállítható. Mivel az eredmények azt mutatják, hogy ez a réteg erősen szennyezett lesz, a kitermelt homokot a környezetvédelmi hatóság nagy valószínűséggel veszélyes hulladéknak fogja

minősíteni. A szállítás és elhelyezés nagy költségeire tekintettel, fontos megállapítás, hogy nem kell a teljes szűrőréteget cserélni, és elhelyezni.

6. Az eredmények tézisszerű összefoglalása

1. Tézis

Autópálya lefolyás mintázásával kimutattam, hogy a folyamatos közlekedésre szolgáló útpályákról, balesetmentes forgalom során lefolyó csapadékvízben a TPH néhány mikron méretű részecskék közé zárva, 10-100 μm méretű agglomerátumokban helyezkedik el. A lefolyás olajtartalma tehát a csapadékvízzel nem alkot emulziót („olaj a vízben” típusú emulziót). Az olaj ilyen elhelyezkedése két lényeges következménnyel jár:

- (i) A burkolathoz tapadó agglomerátumok leválasztására az esőcseppek és a felszíni lefolyás energiája nem elegendő. A mozgó járművek kerekei és a burkolat közötti vízfilmben kialakuló nagy áramlási sebességű víz energiája azonban képes a szennyezők leválasztására és a járművek körül kialakuló permet formájában a felszíni lefolyásba juttatni. Ezért a TPH szennyezettség meghatározó tényezője a csapadék idején zajló forgalom mértéke.
- (ii) A lefolyás alifás szénhidrogén tartalmának eltávolítására az oleofil adszorbensek alkalmazásai és a koaleszcencia elvén alapuló berendezések csak alacsony hatásfokkal képesek.

Publikáció: [1,6]

2. Tézis

A lefolyások PAH tartalmának forrásvizsgálatával, a különböző molekulásúlyú PAH-féleségek előfordulási arányainak meghatározásával kimutattam, hogy a PAH meghatározó hányada égési folyamatból keletkezik, és a gépjárművek kipufogó gázainak korom tartalmához köthető. Az egyéb PAH források (légtörő kihullás, gumiköpeny és aszfalt morzsalék, illetve a kiszóródó kenőolajok) szerepe elhanyagolható.

Publikáció: [1,6]

3. Tézis

A közlekedési eredetű, felszíni és felszín alatti vizek szennyezés elleni védelmére a gyakorlatban hatékonyan alkalmazhatók a szikkasztó, szűrő tározók. Az állítást valós autópálya lefolyás mintákkal végzett laboratóriumi kísérletekkel támasztottam alá, melyek során kimutattam, hogy:

- ❖ Előüleptéssel kombinált homokszűrővel 90% fölötti TPH és PAH eltávolítási hatékonyság érhető el. A visszatartás a tározófenéken kialakított szűrőréteg felső 2-5 cm vastag rétegében végbemegy. A réteg kolmatálódik, aminek a sebessége határozza meg a réteg cseréjének gyakoriságát
- ❖ A oleofil tulajdonságú perlit töltet TPH leválasztó hatásában alapvetően nem az oleofil tulajdonság, hanem csak a szemcsés közeg szűrőhatása jelentkezik.
- ❖ Az önállóan alkalmazott üleptetés TPH leválasztása kisebb a lebegőanyagénál, mert az elsősorban a finomabb, kvázi kolloidális méretű szemcsékben dúsul fel.

Publikáció: [3,7]

4. Tézis

Igazoltam, hogy a forgalommérési adatsorok (egységjármű/óra) hiányzó adatai numerikus adatokból fuzzy szabályrendszert előállító, az ismert adatokkal tanítható fuzzy leképező algoritmus alkalmazásával pótolhatók. Az eljárást sikeresen alkalmaztam az M0 autópálya diósi mérőállomás hiányos forgalmi adatsorának kiegészítésére. A módszerrel pótolta adatsor(ok) dinamikája jó egyezést mutat a mért adatsoréval. Az eljárás legfontosabb tulajdonsága, hogy a hiányzó forgalmi értékek pótlásával a teljes adatsor eloszlási paraméterei, a várható érték és a szórás nem torzul. Következésképp a forgalom eloszlásjellemzőitől függő, számított esemény átlagkoncentrációk és TPH emissziók eloszlása sem módosul. Ezért a kiegészített adatsor a vízminőségvédelmi tározó térfogatának, az értekezésben bemutatott módszeréhez alkalmazható.

Publikáció: [2]

5. Tézis

Számítási eljárást dolgoztam ki a forgalom eloszlási paramétereitől függő esemény átlagkoncentráció (TPH_E, mgTPH/l), a fajlagos TPH terhelés (I , gTPH/ha) éves eloszlásának $F(\text{TPH}_E)$ és $F(I)$, valamint a fajlagos, éves TPH emisszió várható értékének (L , kgTPH/ha,év) meghatározására, átlagos hazai csapadékos év feltételezésével. Az eredmények lehetővé teszik, hogy a tervező meghatározza a várható emissziót és ennek ismeretében a hatóság az engedélyezési eljárás során mérlegelje a várható környezeti hatást. Az eljárás alapja az a kétváltozós lineáris regressziós egyenlet, melyet autópálya lefolyások mintázásával a csapadék idején zajló forgalom és a csapadékmagassága figyelembevételével, a lefolyás átlagkoncentrációjára határoztam meg: $\text{TPH}_E = f(\text{forgalom várható értéke } / E(J), e_j/h, \text{ és a csapadékmagasság, } / H, \text{ mm})$. Kimutattam, hogy az adott autópálya szakasz normális eloszlású éves forgalma és az átlagos csapadékos évben a csapadékmagasságok exponenciális eloszlása nem független egymástól. Ezért az együttes előfordulási valószínűséget Monte Carlo szimulációval állítottam elő. Ezekkel a feltételekkel az $F(\text{TPH}_E)$ értékeit a hazai forgalomintenzitási tartományokra kiterjesztettem. Megadtam a TPH_E várható értékének, valamint a 90-95%-os tartósságú értékeinek számítására vonatkozó módszert. Hasonló eljárás alapján dolgoztam ki a fajlagos emissziók nomogramjait is.

Publikáció: [3,7,8]

6. Tézis

A forgalom és a csapadék statisztikai jellemzőinek ismeretében számítási módszert dolgoztam ki annak a legkisebb, vízminőség védelmi célú tározó térfogatnak a meghatározásához, amely valamennyi, adott TPH_E határértéket meghaladó koncentrációjú lefolyás befogadásához elegendő. Tervezési nomogramokat készítettem, melyeken a TPH = 2, 3, 5 és 10 mg/l-es (feltételezett) szabályozási határérték 95%-os biztonsággal történő betartásához szükséges fajlagos tározótérfogatokat a forgalom eloszlási paramétereinek függvényében leolvashatók.

Publikáció: [3,7,8]

5. Hivatkozott irodalom

- Barret, M., E., Irish, Jr., Malina, L.B., Charbeneau, R.J. (1998) Characterization of highway runoff in Austin, Texas area. *J. Environ. Eng.* 124(2): 131-137.
- Boonyatumanond R, Murakami M, Wattayakorn G, Togo A, Takada H. (2007). Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand. *Sci. Total Environ.* 384(1-3): 420-432.
- Hahn, H.H. (1990). Niederschlagsbedingte Schmutzstoffbelastung der Gewässer - Beitrag der verschiedenen Belastungspunkte und der möglichen Schadstoffgruppen erneut unter die Lupe genommen; Universität Karlsruhe, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 1990.
- Kayhanian, M., J., Johnston, J., Yamaguchi, H., and Borroum, S. (2001). CALTRANS Storm Water Management Program. *Stormwater.* 2(2): 52 – 67.
- Kim, L.H., Kayhanian, M., Zoh, K.D., Stenstrom, M.K. (2005). Modeling of highway stormwater runoff. *Sci. Total Environ.* 348 (1-3):1-18.
- Kobriger, NP, A Geinopolos (1984). Sources and Migration of Highway Runoff Pollutants. Research Report, Vols. III. - Rep. No. FHWAIRD-84/059 (PB 86-227915)
- Kramme, A.D. (1985). Highway-maintenance impacts to water quality. Executive summary. Dalton-Dalton-Newport, Cleveland, OH (USA), Volume 1. Final report.
- McElroy A.E., Farrington, J.W., Teal, J.M. (1989). Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. pp 1-39 in: Varanasi (ed), Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL.
- Novotny, V. (1995). Nonpoint Pollution and Urban Stormwater Management. Technomic Publishing Co., Inc. Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Sartor, J.D. and D.G. Boyd (1972). Water Pollution aspects of Street Surface Contaminants. EPA-R2-72-081 (NTIS BP-214408), USA-EPA, 1972.
- Shaheen, D.G. (1975). Contribution of urban roadway usage to water pollution. EPA Report 600/2-75-004. US EPA, 1975.
- Yunker, M.B., Snowdon, L.R., Macdonalds, R.W., Smith J.N., Fowler, M.G., McLaughlin F.A., Danyushevskaya A.I., Petrova, V.I., and G.I. Ivanov (1996). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Composition and Potential Sources for sediment samples from the Beaufort and Barent Seas. *Environ. Sci. Technol.* 30: 1310-1320.
- Zakharova, Y. and A. Wheatley (2007). Metals in the Runoff from the M1. Water Professionals Conference, University of Surrey, April 2007, p 120.

6. Az értekezés témakörében készült publikációk

Referált folyóirat

1. Buzás, K., L. Somlyódy (1997). Impacts of Road Traffic on Water Quality. *Periodica Polytechnica Civil. Eng.* 41 (2): 95-107.
2. Buzás, K. (2001). Use of fuzzy method to estimate river nutrient loads from scarce observations, *Water Science and Technology*, 43 (7): 279-286.
3. Buzás, K., P. Budai, A. Clement (2008). Contamination and treatment of highway runoff. *Pollack Periodica*, 3 (3): 79–89.

Magyar nyelvű folyóirat, gyűjteményes kötet

4. Buzás, K (1978): Tározóműtárgyak térfogatának meghatározása egyesített rendszerű és csapadécsatorna hálózatokon. *Hidrológiai Közöny*, 1978, Vol. 8. pp. 18-27.
5. Buzás, K., A. Clement (2004). A Balatonba torkolló vízfolyások által közvetített, települési eredetű diffúz tápanyagterhelés meghatározása. In: Mahunka S, Banczerowski J (szerk): A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. MTA, Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 108-116.
6. Buzás, K., Tamás, É. (2007). Az utak környezete. *Vízminőségvédelem az autópályákon. Mélyépítő Tükörkép*, 2007/4, pp. 18-21.
7. Buzás, K., Budai, P. (2008). Az autópályákról és nagyforgalmú közutakról lefolyó csapadékvíz TPH szennyezettsége. *MASZESZ Hírcsatorna*, 2008/3-4, pp. 9-15.

Konferencia kiadvány (referált)

8. Budai, P., K. Buzás: Highway runoff characterisation in Hungary. Proceedings of the 11th International Conference on Diffuse Pollution, Belo Horizonte, August 26-31, 2007, CD
9. Clement, A., K. Buzas, E. Fetter: Measuring and modelling of stormwater runoff and associated nutrient load at an experimental catchment near Lake Balaton, Hungary. Proceedings of the 7th ISE & 8th HIC, Chile, 2009, CD

Dr. Buzás Kálmán, egyetemi adjunktus
BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-5.
Tel: 1 463 1533, Fax: 1 463 3753, E-mail: buzas@vkkt.bme.hu