



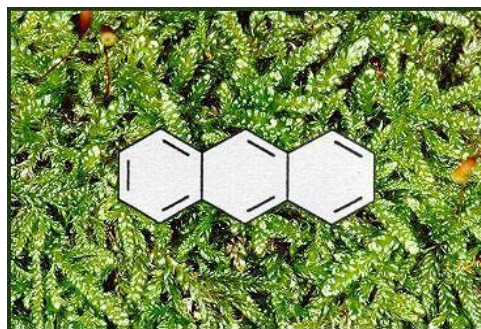
Budapesti Műszaki Egyetem
Általános és Analitikai Kémia Tanszék

VESZÉLYES KÖRNYEZETSZENNYEZŐ ANYAGOK KONCENTRÁCIÓJA MAGYARORSZÁG KÜLÖNBÖZŐ TELEPÜLÉSEIN

Tudományos Diákköri Dolgozat

Témavezető: Dr. Fekete Jenő egyetemi tanár
Konzulensek: Romvári Zsuzsa doktoráns
Ötvös Edit doktoráns

Írták:
Kozák Imre Olivér – Farkas Orsolya – Kozák Melinda



Budapest, 1999.

A dolgozatkészítők konzulensei: Romvári Zsuzsa doktoráns

Ötvös Edit doktoráns

A dolgozat témája:

Vizsgálati témánk a környezetvédelmi analitika – környezetállapot felémérés tárgykörébe tartozik. Dolgozatunkban a környezetszennyező anyagok nagy csoportjából a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH-ok) meghatározásával foglalkozunk. A levegőből lerakódott PAH-ok mennyiségét mérjük Magyarország települési térségeiből származó mohanövény-mintákkal.

A címlapon egy PAH vegyületnek, az antracénnek a szerkezeti képlete látható, háttérben a mintául használt mohanövény teleppel (*Hypnum cupressiforme*).

A dolgozat formai felépítését (a tíz egységből álló szerkezeti formát), a fejezetek tartalmi irányultságát dr. Kozák munkáiból (1982.) vettem át.

Készült a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyészmérnöki Kar Általános és Analitikai Kémia Tanszékén Budapest, 1999. október 6.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A vállalt kötelezettségeket Dr. Fekete Jenő egyetemi tanár témavezető tanárunk segítségével oldottuk meg, akinek sokoldalú készséges támogatásáért ezúton mondunk köszönetet.

Romvári Zsuzsa doktoránsnak köszönhetjük a mérések és az értékelések során felmerülő számos probléma megoldását.

A mohamintákat Ötvös Edit doktoráns bocsátotta rendelkezésünkre, amiért szintén köszönetet mondunk.

A laborcsoportunkhoz tartozó egyetemi hallgatótársainknak is köszönjük, hogy hozzájárultak a saját mérési adataik összehasonlító táblázatunkban való közléséhez.

TARTALOMJEGYZÉK

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	6
ÁBRAJEGYZÉK	8
ELŐSZÓ	9
BEVEZETÉS	10
PROBLÉMAFELVETÉS	11
1. IRODALOM	12
1.1. A Poliaromás szénhidrogének koncentrációja a Föld különböző környezeti térségeiben.....	12
1.2. A könnyű és nehéz PAH-ok mennyiségi megoszlása a földgolyónk különböző tájain.....	14
1.3. A leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	15
1.4. Poliaromás szénhidrogéneket tartalmazó minták előkészítése	16
1.5. PAH-ok meghatározására szolgáló analitikai módszerek és értékelésük	18
2. VIZSGÁLATOK	20
2.1. A mintavétel körülményei, helyszíne és időpontja.....	20
2.2. A PAH-ok kinyerése mohamintákból – a minták előkészítése	21
2.3. A PAH-ok koncentrációjának mérése	22
2.4. A mérési adatok feldolgozása.....	23
3. EREDMÉNYEK	25
3.1. A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatai mintavételi helyenként	25
3.2. a könnyű és nehéz PAH-ok mennyiségi megoszlása az egyes mintákban	25
3.3. A könnyű és a nehéz PAH-ok leggyakoribb különösen veszélyes vegyületei mintavételi helyenként	26
4. ÉRTÉKELÉS	30

4.1.	Az összesített koncentrációadatok értékelése.....	30
4.2.	A könnyű és a nehéz PAH-ok megoszlására kapott adatok értékelése.....	30
4.3.	A kimutatott leggyakoribb különösen veszélyes PAH vegyületekhez tartozó mérési adatok értékelése.....	31
4.4.	A PAH koncentráció adatok és a közúti forgalom összefüggése és az összefüggés értékelése ..	33
4.5.	A saját, és az idegen forrásmunka adatainak összevetése, az összevetési lehetőség értékelése ...	34
ÖSSZEFOGLALÁS		36
UTÓSZÓ		38
F1. TÁJÉKOZTATÓ IRODALOM A PAH-OK FŐBB TULAJDONSÁGAI RÓL		41
F1.1.	A PAH-ok jelentősége a környezetszennyező anyagok között	41
F1.2.	A biomonitorálás jelentősége	41
F1.3.	A poliaromás szénhidrogének általános jellemzői, fizikai tulajdonságok.....	42
F1.4.	A poliaromás szénhidrogének képződése és előfordulása a környezetben.....	44
F1.5.	A poliaromás szénhidrogének egészségkárosító hatása	46
F1.6.	A mohanövény (<i>Hypnum cupressiforme</i>) bemutatása	47
F2. KIEGÉSZÍTÉS A VIZSGÁLATOKHOZ		48
F2.1.	A mintavételi helyek	48
F2.2.	A mintaelőkészítés eszközei.....	48
F2.3.	A mintaelőkészítés során felhasznált vegyszerek.....	49
F2.4.	A folyadékkromatográfiai rendszer	49
F2.5.	A standard kalibrálóelegy összetétele	49
F2.6.	Kalibrációs adatok.....	50
F2.7.	Az eredményül kapott HPLC-kromatogramok.....	50
F2.8.	Számítási táblázatok.....	76
IRODALOMJEGYZÉK		95
Közvetlenül felhasznált irodalom		95
Közvetetten felhasznált irodalom és ajánlott egyéb irodalom		97

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat.	A mintavétel helyszíne és időpontja.....	20
2. táblázat	A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatai mintavételi helyenként	25
3. táblázat.	A könnyű és a nehéz PAH-ok koncentrációja az egyes mintákban	26
4. táblázat.	A könnyű és nehéz PAH-ok mennyiségi megoszlása százalékban kifejezve.....	26
5. táblázat.	Cegléden mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	27
6. táblázat.	Darvason mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	27
7. táblázat.	Gönyűn mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	27
8. táblázat.	Hunyán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	28
9. táblázat.	Komlón mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	28
10. táblázat.	Nyíregyházán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	28
11. táblázat.	Pakson mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek	29
12. táblázat.	Szabolcsbákán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	29
13. táblázat	Az azonosított PAH-vegyületek mennyiségének átlaga az összes PAH-tartalom átlagának %-ában kifejezve.....	32
14. táblázat.	Az azonosított PAH-ok mennyisége (ng/g-ban) és az azonosított PAH-ok az összeshez viszonyított hányada (%-ban kifejezve)	32
15. táblázat.	Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakorisága és az összes PAH mennyisége (ng/g) a vizsgálati települések térségében.....	33
16. táblázat.	Az összes PAH tartalom a saját mérési adatainkkal.....	34
17. táblázat.	Az összes PAH tartalom mások mérési adataival	34
18. táblázat.	Fontosabb PAH-ok fizikai adatai	43
19. táblázat.	A standard kalibrálóelegy összetevői	50
20. táblázat.	HPLC kalibrációs adatok I.....	50
21. táblázat.	HPLC kalibrációs adatok II.....	50
22. táblázat.	A ceglédi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	77

23. táblázat. A ceglédi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	78
24. táblázat. A darvasi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	79
25. táblázat. A darvasi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	80
26. táblázat. A hunyai minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	81
27. táblázat. A hunyai minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	82
28. táblázat. A gönyői minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	83
29. táblázat. A gönyői minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	84
30. táblázat. A komlói minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	85
31. táblázat. A komlói minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	86
32. táblázat. A nyíregyházi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	87
33. táblázat. A nyíregyházi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	88
34. táblázat. A paksi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	89
35. táblázat. A paksi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó számítási táblázata	90
36. táblázat. A szabolcsbákai minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	91
37. táblázat. A szabolcsbákai minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata	92
38. táblázat. A ceglédi minta összefoglaló eredmény táblázata	94
39. táblázat. A darvasi minta összefoglaló eredmény táblázata	94
40. táblázat. A hunyai minta összefoglaló eredmény táblázata	94
41. táblázat. A gönyői minta összefoglaló eredmény táblázata	94
42. táblázat. A komlói minta összefoglaló eredmény táblázata	94
43. táblázat. A nyíregyházi minta összefoglaló eredmény táblázata	94
44. táblázat. A paksi minta összefoglaló eredmény táblázata	94
45. táblázat. A szabolcsbákai minta összefoglaló eredmény táblázata	94

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra	A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatai mintavételi helyenként.....	25
2. ábra.	Cegléden mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	27
3. ábra.	Darvason mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	27
4. ábra.	Gönyűn mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	27
5. ábra.	Hunyán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	28
6. ábra.	Komlón mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	28
7. ábra.	Nyíregyházán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	28
8. ábra.	Pakson mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	29
9. ábra.	Szabolcsbákán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek.....	29
10. ábra.	Az azonosított PAH-vegyületek mennyiségének átlaga az összes PAH-tartalom átlagának %-ában kifejezve.....	32
11. ábra.	Az azonosított PAH-ok mennyisége (ng/g-ban) és az azonosított PAH-ok az összeshez viszonyított hányada (%-ban kifejezve).....	32
12. ábra.	Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakorisága és az összes PAH mennyisége (ng/g) a vizsgálati települések térségében.....	33
13. ábra	Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakoriságának és az összes PAH vegyület nagyságának összefüggése Magyarország különböző településeinek térségében.....	35
14. ábra.	A vizsgált PAH vegyületek szerkezeti képlete.....	44
15. ábra.	A 7 β ,8 α -dihidroxi-7,8,9,10-tetrahidro-benz-(a)-pirén-9 α ,10 α -epoxid kötődése a DNS guaninjához.....	46
16. ábra.	Hypnum cupressiforme mohatelep.....	47
17. ábra.	A mohalevél szerkezete.....	47
18. ábra.	A mintavételi helyek Magyarország térképén.....	48

ELŐSZÓ

Kezdetben a veszélyes szennyező anyagok koncentrációjának kimutatása csak alkalmi ellenőrzésre támaszkodott, később pedig általánossá vált azok rendszeres nyomon követése is. Napjainkban a pontos analitikai vizsgálat és értékelés vált elfogadottá, amivel magasabb szintű szakmai elvárásoknak is eleget lehet tenni.

A környezetvédelem tudománya elérkezett ahhoz a szakaszához, ahol már elismerik fontosságát. Elkezdődtek az alapvető kutatások, megindultak a különböző nemzetközi fejlesztések. *A környezet állapotának felmérésére* állami és magánszervezetek alakultak.

A fejlett nyugati államokban (Németországban vagy a Skandináv államokban) a környezetvédelmi szemlélet széles körben fontos része lett az emberi gondolkodásnak, más országokban viszont idegen még ez a felfogás, és gyakran katasztrofális helyzetek alakulnak ki a környezetszennyezés miatt (szomorú példája ezeknek a csernobili esemény is).

A szennyezettség mértékének felderítésére irányuló munkák elsősorban a szerves vegyületek, a szén-dioxid, nitrogén-oxidok, fémionok kimutatásánál jelentősebbek. *A szerves szennyező vegyületek rendszeres mérése terén viszont jelentős lemaradásaink vannak* (pl. a policiklusos aromás szénhidrogének vagyis a PAH-ok esetében is).

Nem hagyható szó nélkül, az Európai Unió jelentése sem, amely szerint hazánknak 2500 milliárd forintot kellene költenie a környezetvédelemre, ha alkalmas jelöltté akar válni a csatlakozáshoz. A feladatra költött pénz hatékony felhasználásához viszont szükséges a mikroszennyezőkre (PAH, PCB, dioxin) vonatkozó – megbízható – mérési adatsorok összeállítása. Ezen mérési adatsorok mielőbbi kialakításához szeretnénk mi is hozzájárulni.

BEVEZETÉS

A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH-ok) különösen veszélyes csoportot képviselnek a környezetszennyező anyagok között, mivel a szervezetbe kerülve azt többféleképpen károsíthatják, sőt, rákos daganatok kialakulásáért kifejezetten felelősek. Fő kibocsátási forrásuk a közlekedés és a fűtés; mennyiségük a környezetben egyre nagyobb mértékben növekszik, ezért rendszeres mérésük ma már elengedhetetlen.

Munkánk kapcsolódik egy Svédországból kiinduló nemzetközi programhoz, amely mohákat használ fel szennyező anyagok biomonitorozásához.

Áttekintjük a témával foglalkozó hazai és külföldi *szakirodalmat*, amit megkísérelünk elemezni, összegezni. Méréseket végzünk az ország különböző pontjain vett mintákból, a kapott adatokat táblázatokba foglalva írjuk le.

A mérések után a legfőbb *eredményadatokat* összevetjük más hallgatói csoportok mérési adataival és a vonatkozó szakirodalom adataival is.

Dolgozatunk további részében megkíséreljük a végzett munkánk hatékonyságát, hasznosíthatóságát áttekinteni; majd a kialakított hipotéziseinkre – a mérési adatok alapján – a tudományos válaszokat megfogalmazni.

PROBLÉMAFELVETÉS

A környezeti analitikának egyik fő feladata a különböző szennyező anyagok biomonitorálása, vagyis a szennyezettségi adatok nyomon követése térben és időben, az átfogó szennyezettségi térképek megrajzolása.

Mivel a veszélyes környezetszennyező vegyületek, köztük a poliaromás szénhidrogének koncentrációja állandóan változik, óriási teherként nehezedik ránk ezen anyagok naprakész mérése és a mérési adatok értékelése. Ebből problémakörből most a következő részproblémákat helyeztük előtérbe:

- mekkora nagyságú a könnyű és a nehéz PAH-ok összesített koncentrációja;¹
- milyen a könnyű és nehéz PAH-ok mennyiségi megoszlása;
- melyek a leggyakrabban előforduló könnyű és a nehéz PAH vegyületek hazánk különböző földrajzi térségében.

A fő kérdéseken túl az is érdekel bennünket, hogy lehet-e összefüggést felfedezni a PAH-ok mennyisége és a közúti forgalom nagysága között.

¹ A könnyű PAH-ok közé a 2, 3 vagy 4 aromás gyűrűt tartalmazó vegyületeket soroltuk (pl. naftalin, krizén), a nehéz PAH-ok közé az 5 vagy 6 aromás gyűrűt tartalmazókat (pl. benz-(b)-fluor, indeno-(1,2,3-cd)-pirén).

1. IRODALOM

1.1. A POLIAROMÁS SZÉNHYDROGÉNEK KONCENTRÁCIÓJA A FÖLD KÜLÖNBÖZŐ KÖRNYEZETI TÉRSÉGEIBEN

Menichini [9.] végzett átfogó tanulmányokat PAH-ok nemzetközi mérési eredményeiről. Két fő forrás köré csoportosult a kibocsátás több mint 90 %-a: járműforgalom és a lakossági fűtés. Esetleges harmadik kibocsátóként ipari szennyezés is előfordult. Az összehasonlítást az alábbi módokon végezte: PAH profilok (a különböző PAH-ok aránya), egy kiválasztott PAH koncentrációja, „spy-PAH-ok” (főleg egy helyről kibocsátott PAH-ok terjedése).

Los Angelesben azt találták, hogy a PAH koncentráció és a járműforgalom között igen erős a korreláció (B(ghi)P). New Jerseyben a szénkazánok jelenléte mutatott erős korrelációt BaP jelenlétével, illetve nyáron az autóforgalommal. Párizsban megállapították, hogy a benzin üzemű járművek télen kisebb (42 %), nyáron nagyobb részben (72 %) járultak hozzá a mért PAH koncentrációhoz mint kibocsátási forrás; a gázolaj üzeműek 25-40 %-ban, a lakossági fűtés pedig 30 %-ban télen, 2 %-ban nyáron.

Ciccioli [2.] és társai elemzéseket végeztek különböző területek szennyezettségének felderítésére. A vizsgált területeket 4 csoportra osztották: nagyvárosi területek, külvárosok ill. elővárosok, nagyváros közelében található erdők, várostól távoli területek.

A nagyvárosi pormintákat Rómából, Milánóból és Nápolyból, a külvárosi mintákat a Róma melletti Montelibrettiből és Madrid egyik elővárosából gyűjtötték. Az erdei minták Castel Porzianóból (Appeninek, nem túl messze Rómától), Storkowból (30 km-re Berlintől) és a braziliai Alta Florestából származtak. A Mount Everest lábánál fekvő nepáli Sagarmatha

Nemzeti Park és az antarktisi Terra Nova Bay szolgálták gyűjtőhelyül a várostól távoli területek mintáihoz.

A mért adatokon világosan követhető az a tendencia, hogy a nitro-PAH-ok koncentrációja a nagyvárosokban a legmagasabb, a várostól távoli területek felé haladva egyre csökken. A szennyezés Milánóban a legnagyobb, ahol a legforgalmasabb a közlekedés, a legnagyobb mértékű a szén-és fatüzelés és az olajégetés, tehát a PAH-okhoz hasonlóan a nitro-PAH-ok fő emissziós forrása az energiaipar és a közlekedés.

Meglepően alacsony a szennyezettség Storkowban. Ennek az lehet az oka, hogy az egykori NDK területén kevesebb autó járt, mint a fejlettebb Olaszországban. A brazíliai szennyeződések valószínűleg az erdőégetésből származnak. A legalacsonyabb koncentrációkat Nepálban mérték és az Antarktison, ahol embertől származó kibocsátás nincsen.

További vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a koncentrációk évszaktól és napszaktól is függenek, és az sem mindegy, hogy milyen a szélirány a mintavétel helyén.

Herzig [6.] Lichtenstein és Svájc területéről származó mintákkal dolgozott. Úgy igyekezett kiválasztania mintavételi helyeket, hogy legyen köztük olyan, ahol várhatóan magas lesz a poliaromás szénhidrogének koncentrációja, és olyan helyszínekről is vett mintákat, ahol a szennyezés mértéke feltételezhetően alacsonyabb. Öt mintavételi helyet jelölt ki: Vaduz High School: a közvetlen közelben igen forgalmas a közlekedés; Vaduz Ruettile: 250 m-re található egy forgalmas úttól; Triesenberg Wang: 1300 m felett fekvő terület; Alpa Valuena ; Neuenegg Forest.

Az utóbbi három mintavételi helyen Herzig alacsony szennyezésre számított, mivel ezek forgalomtól távol eső területek.

A méréseket GC-MS technikával végezte, és feltételezései beigazolódtak. A PAH-ok koncentrációja Vaduz High Schoolban volt a legmagasabb, és feltűnően nagy volt a többi PAH-hoz képest az antracén, az anantrén és a koronén előfordulása. Vaduz Ruettilében már számottevően alacsonyabb volt a koncentráció, a hegyvidéki területeken pedig még

alacsonyabb. Triesenberg Wangban viszonylag sok motoros jármű közlekedik, ezért lehetett a koncentráció magasabb, mint Alpa Valuenában és Neuenegg Forestben. Az utóbbi két területen a koncentráció körülbelül a háttérértéknek felelt meg.

Egyes PAH-vegyületek nagyobb koncentrációban jelentek meg (30-900 ppb), más PAH-ok csak alacsonyabb koncentrációban fordultak elő. Több karcinogén vegyület kifogásolható mennyiségben fordul elő. A koncentrációk eloszlása megerősíti azt a tényt, hogy a PAH-ok egyik fő forrása a közlekedés.

Chovanec [3.] és társai klórozott szerves vegyületeket, PAH-okat és nehézfémeket határoztak meg felső-ausztriai folyók üledékéből és az ott élő vízimohákból (*Fontinalis antipyretica*). A mintavétel Linz környékén történt, a Duna és Traun folyókból. A választás azért esett erre a helyszínre, mert Linz Ausztria egyik legfontosabb iparvárosa, és számos üzemmel rendelkezik a folyók partján.

A legalacsonyabb koncentrációt az *A* helyszínről származó mintában mérték. Az *A* helyszín a Duna mentén a legfelső mintavételi hely, környékén semmilyen gyár nem található. A *D* helyszínen már magasabb a koncentráció – sok üzem található előtte, de nem túl közel, így valószínűleg a PAH-koncentráció már felhígult. A *C* és *B* helyszín közelében festékgyár és vízerőmű található, a koncentráció ezeken a helyeken a legmagasabb. A *C* helyszínen már valószínűleg felhígult a koncentráció a *B*-hez képest. Ezekből az adatokból látszik, hogy a PAH-ok mennyisége összefüggésben áll az ipari szennyezők kibocsátásával.

A Duna szlovákiai és morvaországi szakaszán is végeztek méréseket. 1991-ben a PAH-ok koncentrációja 26-4690 µg/kg volt, 1992-ben pedig már 86-8794 µg/kg –ot mértek.

1.2. A KÖNNYŰ ÉS NEHÉZ PAH-OK MENNYISÉGI MEGOSZLÁSA A FÖLDGOLYÓNK KÜLÖNBÖZŐ TÁJAIN

Az általunk áttanulmányozott cikkekből az derül ki, hogy a könnyű és nehéz PAH-ok terület szerinti eloszlása meglehetősen változatos, nem mutatkozik egységes tendencia².

² Könnyű PAH-ok 2, 3 vagy 4 aromás gyűrűt, a nehéz PAH-ok pedig 5 vagy 6 aromás gyűrűt tartalmaznak.

A Finnországban vizsgált *hómintákban* (Viskari [16.]) a nehéz PAH-ok mennyisége gyakran a kimutatási határ alatt volt, míg az ugyanonnan származó *mohamintákból* több nehéz PAH-ot mutattak ki, mint könnyű PAH-ot. Ezt az eltérést okozhatja a minták jellege, az eltérő időjárási viszonyok, a mintaelőkészítés és a mérési módszer különbözősége és számos más hatás.

Az ausztriai felmérés (Chovanec [3.]) eredménye szerint a folyókban a könnyű és nehéz PAH-ok körülbelül azonos mennyiségben fordulnak elő. Néhány vegyület koncentrációja magasabb mint a többié, ezen vegyületek közt azonban akad könnyű és nehéz PAH is.

Az egyesült államokbeli Superior-tóban (Provini [12.]) szintén hasonló a PAH-ok eloszlása, vagyis nem látható szignifikáns különbség a PAH-ok aromás gyűrűk szerinti eloszlásában.

A lichtensteini (Herzig [6.]) adatokból az derül ki, hogy magasabb a könnyű PAH-ok koncentrációja, de van néhány nehéz PAH, mely nagy mennyiségben fordul elő (benz-(a)-pirén), benz-(b,k)-fluorantén.

1.3. A LEGGYAKORIBB KÖNNYŰ ÉS NEHÉZ PAH VEGYÜLETEK

Menichini [9.] következtetései szerint: A nagyságrendek ismertek. Benz-(a)-pirént általában 1-50 ng/m³ koncentrációban mutattak ki Európában és 1 ng/m³ koncentrációban az USA-ban. Más PAH-ok mért koncentrációja 1-50 ng/m³ volt Európában és 0,1-1 ng/m³ Észak- és Dél-Amerikában és Ausztráliában, 1-10 Japánban és 10-100 India és Új-Zéland két városában. A nagy különbségeket feltehetőleg a különböző mintavételi eljárások és a mintavételi helyek eltérő szempontok alapján való kiválasztása okozhatta. Ilyen adatokkal nem lehet városok között összehasonlítást végezni, ehhez standardok felállítására van szükség: mintavételi paraméterek, mintavételi hely kiválasztásához szempontok, megengedett legkisebb mintaszám, vizsgálatok végzésének megengedett legrövidebb időtartama, a vizsgálandó PAH vegyületek. A változások oka általában ismert (időjárás, közlekedés), de főleg télen csak durva összehasonlítási alapok vannak. Menichini rávilágít arra, hogy a cikkeknek mindenképpen tartalmazni kellene: a mintavétel körülményeit, a helyszín leírását, a lehetséges PAH kibocsátókat a lehető legrészletesebb leírásban. 1985-ben Pitts és társai [9.] azt tapasztalták, hogy a Los Angeles-i medencében magas a nitro-PAH-ok koncentrációja.

Különösen nagy volt azon nitro-PAH vegyületek mennyisége, amelyek molekulatömege 247 (pl. 2-nitrofluorantén, 2-nitropirén).

Provini [12.] és munkatársai az olaszországi Varese-tóból vettek üledékmintákat. Az eredmény: a fluorantén koncentráció 100-220 $\mu\text{g}/\text{kg}$ -ig terjedt. Baker hasonló módon végzett méréseket az Egyesült Államokbeli Superior-tóban. A következő vegyületeket azonosította és határozta meg koncentrációjukat: fluorén 4,2-7,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, fenantrén 62,1-98,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, fluorantén 36,5-153,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, pirén 21,5-88,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$, benz(b)fluorantén 104-319,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, benz(k)fluorantén 49,1-196,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Chovanec [3.] és társai a több helyszíneken mért PAH-ok koncentrációadatait összefoglalja. Tizenhárom különböző PAH-vegyületet mutattak ki, köztük benz(a)pirént (13,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$), benz(b)fluorantént (49,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$), benz(k)fluorantént (20,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$) és fluorantént (107,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Mint látjuk, sokféle PAH vegyület koncentrációját mérik, köztük könnyűeket és nehezeket, veszélyeseket illetve kevésbé veszélyeseket. A munkákból a legtöbb esetben hiányzik az indoklás, hogy miért azokat a vegyületeket mérték, amelyeket mérték, illetve miért (csak) azokat választják, amelyek az adott mérési módszerrel legkönnyebben kimutathatók.

Számunkra az kínálkozik a legmegfelelőbb megoldásnak, ha következetesen a US-EPA által javasolt 16 legveszélyesebb vegyület közül választjuk ki azokat, amelyeknek koncentrációját mérni fogjuk, illetve ha van rá lehetőségünk, mind a 16 vegyület koncentrációját mérjük. Figyelnünk kell arra, hogy egyaránt legyenek köztük könnyű és nehéz PAH vegyületek, a kromatográfias módszerünk által nehezen megkülönböztethető vegyületpárok a lehető legkisebb számban forduljanak elő.

1.4. POLIAROMÁS SZÉNHYDROGÉNEKET TARTALMAZÓ MINTÁK ELŐKÉSZÍTÉSE

Biológiai minták feltárásakor különleges mintaelőkészítési módszert kell alkalmaznunk. E.-L. **Viskari** [16.] és munkatársai PAH-ok koncentrációját határozták meg mohákban. A mohamintákat folyékony nitrogénnel kezelték és porították, majd *Soxhlet-készülékben* 16 órán keresztül 200 ml diklór-metánnal extrahálták. A mintát rotadeszten bepárolták, 10 ml hexánban feloldották, majd aktivált alumínium-oxidos oszlopon vezették át a szennyezők

megkötésének céljából. Az oszlopról a mintát 10 ml diklór-metánnal oldották le. A minta térfogatát nitrogéngáz as lefúvatással 0,1 ml-re csökkentették, majd GC-MS technikával elemezték. Létezik azonban a Soxhlet-extrakciónál hatékonyabb mintaelőkészítési módszer is. *Ultrahangos extrakcióval* kétszer fél órás kezeléssel ugyanolyan eredményt érünk el, mintha a mintát több órás Soxhlet-extrakciónak vetettük volna alá.

A többgyűrűs aromás szénhidrogének koncentrációja környezeti *vízmintákban* ng/l-es tartományba esik, ezért a megbízható analízishez elengedhetetlen a meghatározandó komponensek dúsítása és a zavaró komponensek eltávolítása (Kömíves [7.], Viskari [16.]). Törekednünk kell a mérendő alkotók minimális veszteségére. Biológiai mintáknál a mintaelőkészítés különös figyelmet igényel, mivel nagyszámú vegyületet tartalmazó bonyolult mátrixból kell kinyerni a meghatározandó alkotókat.

Az általunk tanulmányozott publikációkból világossá válik, hogy a PAH-ok kinyerésére két módszert alkalmaznak a gyakorlatban: folyadék-folyadék és folyadék-szilárd extrakciót. A *folyadék-folyadék extrakció* során a mintát apoláris oldószerrel érintkeztetik, így a hidrofób szerves vegyületek átkerülnek az oldószerbe. Az oldószernek vízzel nem szabad elegyednie, illékonynak kell lennie (mivel az extrakciót követően el kell párologtatni) és jól kell oldania a PAH-okat, ezért általában ciklohexánt szoktak alkalmazni. A módszer előnye, hogy egyszerű módon kivitelezhető, hátrány viszont, hogy nagy mennyiségű tűzveszélyes és egészségkárosító oldószer igényel. A *szilárd-folyadék extrakció* lényege, hogy a mintát egy szilárd állófázissal töltött oszlopon engedjük át. Az eltérő megoszlási hányados miatt a szerves komponensek megkötődnek az oszlopon, ahonnan később oldószerrel leoldhatóak. PAH-ok dúsítására általában C18-as fordított fázisú extrakciós oszlopot használnak. E módszer mellett szól, hogy kevesebb oldószer igényel, könnyen automatizálható, és a meghatározandó vegyületeket szelektíven dúsíthatjuk a töltet alkalmas megválasztásával. Kedvezőtlen azonban, hogy a zavaró komponensek is erősebben kötődhetnek, és a kis szemcséken levő PAH-ok esetleg nem kötődnek meg az oszlopon.

1.5. PAH-OK MEGHATÁROZÁSÁRA SZOLGÁLÓ ANALITIKAI MÓDSZEREK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Fekete J. és társai [4.] elmondják, hogy a PAH-ok meghatározásánál a következő *elválasztási technikák* jöhetnek szóba: nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC), gázkromatográfia (GC), szuperkritikus fluidkromatográfia (SFC), kapilláris elektroforézis (CE), és néhány esetben nagyhatékonyságú vékonyréteg-kromatográfia (HPTLC). A gyakorlatban főleg a GC-t és a HPLC-t alkalmazzák. Ez a két módszer lehetővé teszi a komponensek elválasztását, köztük az dönt, hogy melyik biztosít érzékeny és szelektív detektálási lehetőséget. A GC általánosan alkalmazott detektora a FID (lángionizációs detektor) nem megfelelő, mivel kicsi a szelektivitása a szénhidrogénekre. A GC-MS (gázkromatográfia – tömegspektrométer) kapcsolt technikával kiválasztott ionmonitorálásban (SIM üzemmód) megfelelő érzékenységet érhetünk el, de a több mint 500 PAH-vegyület nagyon hasonlóan fragmentálódik (hasonló molekulatöredék keletkezik), ezért nagy az interferencia lehetősége. A HPLC-ben használatos UV- és fluoreszcens detektor érzékenysége közepes, nagy PAH-koncentrációk mérését teszi lehetővé. Mérés során a gerjesztési és az emissziós hullámhosszakat be lehet állítani, így minden egyes komponens a legérzékenyebb módon mérhető. Összetett, sok mátrixkomponenst tartalmazó mintáknál a szelektivitás nem mindig megfelelő. Ezen tulajdonságok alapján az UV és a fluoreszcens detektorokat alkalmazzák leggyakrabban poliaromás szénhidrogének meghatározására.

Kömíves [7.] felhívja a figyelmet arra, hogy a poliaromás szénhidrogének között található olyan kritikus vegyülepárok, melyek csupán apolaritásuk alapján nem választhatóak el egymástól (pl. fluorén-acenaftén). Némely komponensek is csak részlegesen különíthetőek el egymástól. A megfelelő elválasztás érdekében módosított szilikagélt kell használni. Ez a szilikagél nagy pórusátmérőjű, és trifunkciós szilánnal módosítják. A módosítás következtében a szilikagél felületén filmszerű réteg alakul ki. Az oszlopot egy ágas-bogas fának képzelhetjük el, melynek ágai közé inkább a hosszúkás alakú molekulák hatolhatnak be és “akadhatnak fenn”, míg az inkább kört formázó vegyületek “leesnek a fa ágai között”. Így jön létre az állófázis alakszelektivitása, ami lehetővé teszi a kritikus párok elválasztását. Az alakszelektivitás jellemzésére modellvegyületeket választottak ki: benz-a-pirén (B(a)p), 1,2:3,4:5,6:7,8-tetra-benzo-naftalin (TBN) és a fenantro(3,4-c)fenantrén (Ph-Ph). Eme három vegyület retenciós sorrendje megmutatja, hogy milyen típusú módosításról van szó. Monomer módosítású állófázisnál a retenciós sorrend $B(a)p < Ph-Ph < TBN$, polimer borítottságúnál

Ph-Ph < TBN < B(a)p. A polimer jelleg megadására a TBN és a B(a)p relatív retenciója elegendő. Azokat a polimerrel borított kolonnákat, amelyekkel a 16 PAH vegyület alapvonalon elválasztható, a gyártó cégek az alapszilikagél megadása után PAH utótaggal látják el. (pl. Chromospher PAH).

Az elemzés megbízhatóságának javítására belső standardként perdeuterált PAH-vegyületeket használnak. A belső standardként használt PAH-ok közvetlenül a nem deuterált vegyület előtt eluálódnak a tölteten. A szelektivitás multidimenzionális folyadékkromatográfiás módszerrel fokozható: a PAH-okat gyűrűszám szerint elkülönítjük (kromatográfiás módszerrel), majd az egyes frakciókat elemezzük HPLC-vel és fluoreszcens detektorral.

Ezek alapján *számunkra* a folyadékkromatográfiás rendszer UV és fluoreszcens detektorral kombinálva tűnik esetünkben a legalkalmazhatóbbnak. A HPTLC berendezéshez nincs hozzáférésünk, a GC-t pedig az általánosan használt FID detektora miatt nem látjuk kézenfekvőnek (kis szelektivitás). Fluorén-acenaftén elválasztásához módosított szilikagélt kellene használnunk, azonban ezt nem látjuk indokoltnak, mivel jelentősen megdrágítja a mérést (elegendő számunkra az is, ha a két vegyületet koncentrációját csak együttesen ismerjük meg).

2. VIZSGÁLATOK

2.1. A MINTAVÉTEL KÖRÜLMÉNYEI, HELYSZÍNE ÉS IDŐPONTJA

A mohamintákat Ötvös Edit doktoráns (Gödöllői Agrártudományi Egyetem) bocsátotta rendelkezésünkre. Nyolc darab mintát kaptunk, amelyek Magyarország különböző településeiről származnak. Hazánk területét 20x25 km-es négyszögekre osztották fel, és a négyzetek közepéről történt a mintavétel. A mintákat papírzacskóban kaptuk kézhez és a mintaelőkészítésig abban tároltuk.

A mintavétel idejét és helyszínét a 1. tartalmazza. A mintavétel egyezményesen úttól legalább 250 m-re, esőnek nem közvetlenül kitett, lehetőleg árnyékos helyen³ történt.

A mintavétel helyszíne	A mintavétel időpontja
Nyíregyháza	1997. dec. 13.
Paks	1998. aug. 15.
Komló	1998. aug. 15.
Darvas	1997. nov. 29.
Hunya	1997. nov. 29.
Cegléd- Törtel	1997. okt. 23.
Szabolcsbáka	1997. dec. 13.
Gönyü	1997. okt. 4.

1. táblázat. A mintavétel helyszíne és időpontja

³ A mintavételi helyeket az F2.1. függelékben (18. a, 48. oldal) térképen is feltüntettük.

2.2. A PAH-OK KINYERÉSE MOHAMINTÁKBÓL – A MINTÁK ELŐKÉSZÍTÉSE

A mintaelőkészítéshez Viskari [16.] módszerét vettük alapul, ami egy korszerű, megbízható módszer, más tudományos publikációkban is tulajdonképpen ennek változataival találkozhatunk (Chovanec [3.], Torun [15.], Markert [8.]). A próbamintaelőkészítések során Viskari [16.] **módszerét továbbfejlesztettünk** a gyorsabb és hatékonyabb kinyerés érdekében.

A mintaelőkészítéshez használt üvegeszközöket szárítószekrényben 260 °C-on 1-2 órán keresztül szárítottuk. A papírzacskóból 5-5g mohát bemértünk főzőpohárba. A mintákat „B”, jelzéssel láttuk el. Igyekeztünk a bemérésnél zöld részeket válogatni, földet nem tettünk bele a bemért anyagba.

A mohára annyi hexánt öntöttünk, amennyi éppen ellepte (50-100 ml), majd 15 percig ultrahangos fürdőbe tettük (Tesla UC002 BM1, 300W típusú készülék). Viskari [16.] Soxhlet-extrakciót alkalmazott, szerintünk azonban *az ultrahangos fürdő egyszerűbben kivitelezhető és gyorsabb.*

Szűrőpapíron (Schleicher & Schuell AG 8714 Feldbach ZH) leszűrtük a hexános fázist csiszolatos gömblombikba, és elszívófülkébe tettük a további kezelésig. A mohára ismét annyi hexánt öntöttünk, ami éppen ellepte, 15 percig ultrahangos fürdőben kezeltük, majd ismét leszűrtük ugyanazon a szűrőpapíron. A mintákat rotadeszten pár csepp folyadékig bepároltuk. A gömblombik faláról az anyagot kevés diklórmetánnal feloldottuk (kevesebb mint 20 ml), majd clean-upot végeztünk vele. A clean-up után a mintáról nitrogénnel lefűvattuk az oldószer maradékát. A mintákat a mérésig 20 ml-es üvegben, hűtőszekrényben tároltuk.

A „C” minta a „B” mohaminta maradéka volt. A mohát ollóval szétvagdosztuk, dörzsmozsárban porítottuk. A mintát főzőpohárba tettük, leöntöttük hexán- aceton 1:1 arányú elegyével. A hexán-acetonos kezelés a szennyező anyagoknak a sejtalkotókból való kinyerését biztosította. A „C” mintával a továbbiakban hasonló módon jártunk el, mint az "B" mintával. A második ultrahangos fürdő előtt a mohákat hexán-aceton 1:1 arányú elegyével kezeltük.

A clean-up: műanyag oszlopba alulra speciális gyári szűrőt és erre két szűrőpapír karika közé 20 ml szilikagélt tettünk, melyet előzetesen szárítószekrényben 110 °C-on szárítottunk, majd exszikkátorban tároltuk a további felhasználásig. Az így elkészített oszlopot diklórmetánnal

aktiváltuk, majd fecskendő segítségével átszívtuk rajta a mintát. Ily módon eltávolítottuk a poláris szennyezőket a mintából.

A mérés előtt közvetlenül 1,0 ml acetonitrilben feloldottuk a mintát, majd injekciós tű és fecskendő segítségével szeptumos automata-mintaadagoló üvegbe tettük. Néhány mintába a clean-up során szilikagél került. Ezeket membránszűrőn átszívattuk, és csak utána fecskendeztük a mintaadagoló üvegbe. Erre azért volt szükség, mert a szilikagél eltömíti a folyadékkromatográfiás készüléket.

A mintaelőkészítés során használt eszközök és vegyszerek listája az F2. függelékben található (lásd 48. oldal).

2.3. A PAH-OK KONCENTRÁCIÓJÁNAK MÉRÉSE

A PAH- ok meghatározása a szakirodalomnak megfelelően fordított fázisú folyadékkromatográfiás⁴ módszerrel történt.

Az elválasztáshoz speciális PAH-kolonnát használtunk (trifunkciós szilánnal módosított szilikagél): erre azért volt szükség, mert a PAH-oknak vannak ún. kritikus vegyülepárjai, melyek apolaritásuk alapján nem választhatók el egymástól, hanem csak a kolonna alakszelektivitásának segítségével.

Eluensként acetonitril és kétszeresen desztillált víz 90-10 m/m %-os elegyét használtunk, melyet 10 percig ultrahangos fürdőben kezeltünk. A mozgófázis összetétele alkalmazkodott ahhoz a célhoz, hogy a mérés során inkább a nehezebb PAH-okat akartuk mérni.

A méréshez UV- és fluoreszcens detektort használtunk. Az UV detektor a könnyű PAH-okra, a fluoreszcens detektor a nehéz PAH-okra adott értékelhetőbb jelet (az UV detektor jele sokszor már telítésbe ment, amikor még a nehéz PAH-okra nem is jelzett).

A méréshez használt folyadékkromatográfiás rendszer adatait az F2. függelékben soroltuk fel (lásd 49. oldal).

⁴ Az angol terminológia: RP-HPLC: Reverse-Phase – High Pressure Liquid Chromatography

2.4. A MÉRÉSI ADATOK FELDOLGOZÁSA

A minták egyes komponenseinek mennyiségi meghatározását a standard kalibrálóelegy alapján egyponos kalibrációval végeztük. A számításokat Microsoft® Excel 97 programmal hajtottuk végre. A koncentrációk meghatározása az alábbi lépésekben történt:

1. A standard elegy kromatogramján a laboratóriumban kapott táblázat alapján azonosítottuk az egyes PAH- komponenseknek megfelelő csúcsokat ill. retenciós időket (t_R). Leolvastuk a számítógép által kiírt csúcsterületeket (A_{St}), és az alábbi módon kiszámoltuk az érzékenységi faktorokat minden komponensre:

$$a_{St} = \frac{A_{St}}{c_{St}}$$

A méréseket két különböző időpontban végeztük, ezért kétféle érzékenységgel számoltunk. A kalibrációs adatokat az F2.6. függelékben tüntettük fel (50. oldal).

2. A minták kromatogramján⁵ a standard kalibrálóelegy retenciós idejei alapján azonosítottuk a minta komponenseit. A kromatogram elején (kb. $t_R = 8$ percig), ahol a könnyű PAH- ok sűrűn egymás után jelentek meg, az azonosításnál 0,05 százalós eltérést engedtünk meg, a kromatogram végén pedig elfogadtuk a 0,1 tizedes eltérést is. Leolvastuk az egyes mintakomponensek területeit (A_m). $t_R = 8$ percig az UV-detektor által adott értékeket használtuk fel számításainkhoz, $t_R = 8$ perc után pedig a fluoreszcens detektorét. Ezt azért végeztük így, mivel amikor az UV detektor a könnyű PAH-okra jól értékelhető jelet adott, a nehezekre még nem. Ha növeltük az érzékenységét, a könnyű PAH-okra adott jele már telítésbe mentek, amikor a nehéz PAH-okra adott jele éppen értékelhető lett. A mintakonzentrációkat a következő összefüggés alapján számoltuk:

$$c_m = \frac{A_m}{A_{St}} \cdot c_{St} = \frac{A_m}{A_{St}}$$

3. Voltak olyan mintakomponensek, amelyeket retenciós idejük alapján nem tudtunk azonosítani a standard elegy egyik komponensével sem. Ezek koncentrációját úgy számoltuk, hogy érzékenységi faktornak a hozzájuk legközelebb eső ismert komponens érzékenységét vettük. Feltételezhetően ezek a komponensek is PAH-származékok, de az azonosításbeli

⁵ Az egyes minták kromatogramjai a függelékben megtalálhatók

bizonytalanság miatt az eredmények megadásánál ezen anyagok mennyiségét csak az össz-PAH tartalomban tüntettük fel.

4. Miután megkaptuk a c_m mintakonzentrációkat [ng/ml], átszámoltuk őket tömegre [ng] úgy, hogy a koncentrációt megszoroztuk a hozzá tartozó mintatérfogattal. Ezután utolsó lépésként a kapott tömegeket a kiindulási mohaminta össztömegére vonatkoztattuk, és az eredményeinket [ng/g] dimenziójú koncentrációformában tüntettük fel.

5. Végezetül a hexános és a hexán acetonos kinyerések eredményeit összegeztük.

A folyadékkromatográfiás elválasztás eredményéül kapott kromatogramokat az F2.7. függelékben (lásd 50.oldal), a számításokat tartalmazó Excel táblázatokat pedig az F2.8. csatoltuk (lásd 76.oldal).

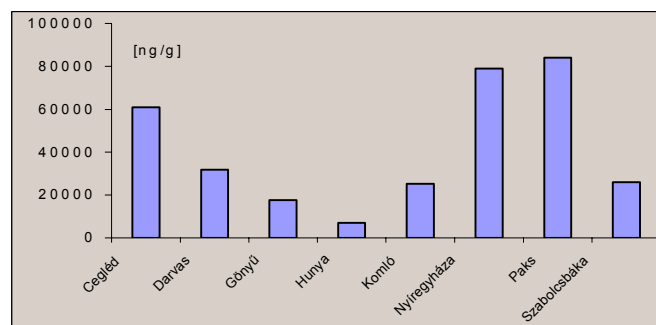
3. EREDMÉNYEK

3.1. A KÖNNYŰ ÉS NEHÉZ PAH-OK ÖSSZESÍTETT KONCENTRÁCIÓADATAI MINTAVÉTELI HELYENKÉNT

A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatait ng/g mértékegységben tüntettük fel, mivel a mérés során ng/g pontossággal dolgoztunk. Szem előtt kell azonban tartanunk, hogy a koncentrációadatok nagyságrendjéből fakadóan az utolsó három számjegy értéke inkább tájékoztató jellegű.

Az x-tengelyen abc-sorrendnek megfelelően tüntettük fel az adatokat.

Hely	ng/g
Cegléd	60924
Darvas	31857
Gönyű	17459
Hunya	6908
Komló	25330
Nyíregyháza	78972
Paks	84304
Szabolcsbáka	25881



2. táblázat A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatai mintavételi helyenként

1. ábra A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációadatai mintavételi helyenként

3.2. A KÖNNYŰ ÉS NEHÉZ PAH-OK MENNYISÉGI MEGOSZLÁSA AZ EGYES MINTÁKBAN

A könnyű PAH-ok közé a 2, 3 vagy 4 aromás gyűrűt tartalmazó vegyületeket soroltuk (naftalin, acenaftilén, acenaftén és/vagy fluorén, fenantrén, antracén, fluorantén, pirén, benz-

(a)-antracén, krizén), a nehéz PAH-ok közé a 5 vagy 6 aromás gyűrűt tartalmazóakat (benz-(b)-fluor, benz-(k)-fluorantén, benz-(a)-pirén, dibenz-(a,h)-antracén, benz-(g,h,i)-perilén, indeno-(1,2,3-cd)-pirén). A 3. táblázatban ng/g, a 4.-ben pedig az összesített PAH tartalom %-os adatai olvashatók.

Város	Könnyű PAH [ng/g]	Nehéz PAH [ng/g]
Cegléd	60862	62
Darvas	31832	25
Gönyű	17317	142
Hunya	6900	8
Komló	25279	51
Nyíregyháza	78948	24
Paks	84191	115
Szabolcsbáka	25612	269

3. táblázat. A könnyű és a nehéz PAH-ok koncentrációja az egyes mintákban

Város	Könnyű PAH [%]	Nehéz PAH [%]
Cegléd	99,90%	0,10%
Darvas	99,92%	0,08%
Gönyű	99,19%	0,81%
Hunya	99,89%	0,11%
Komló	99,80%	0,20%
Nyíregyháza	99,97%	0,03%
Paks	99,87%	0,14%
Szabolcsbáka	98,96%	1,04%

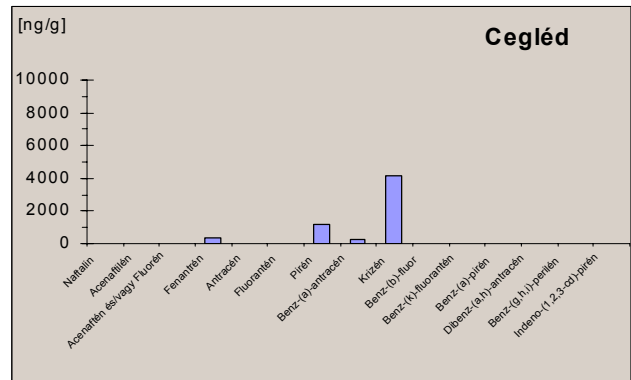
4. táblázat. A könnyű és nehéz PAH-ok mennyiségi megoszlása százalékban kifejezve

3.3. A KÖNNYŰ ÉS A NEHÉZ PAH-OK LEGGYAKORIBB KÜLÖNÖSEN VESZÉLYES VEGYÜLETEI MINTAVÉTELI HELYENKÉNT

Az 5-12. táblázatokban bemutatjuk az egyes mintavételi helyeken a retenciós idő alapján azonosított vegyületeket. Az üresen hagyott helyek azt jelentik, hogy az adott vegyület koncentrációja az alkalmazott módszer kimutatási határa alatt van. A 10 ng/g körüli koncentráció értékek az alkalmazott módszer kimutatási határához közel esnek, ezek információtartalma csupán annyi, hogy az adott vegyület kimutatható a mintában. Az y-tengelyen mindig a 0 - 10 000 ng/g intervallumban ábrázoltuk a koncentráció értékeket, hogy a mintavételi helyek közötti *összehasonlítást* megkönnyítsük.

Az acenaftén és a fluorén a mérési módszerrel retenciós idő alapján nem volt elkülöníthető, koncentrációjukat a két vegyületre összesítve adjuk meg.

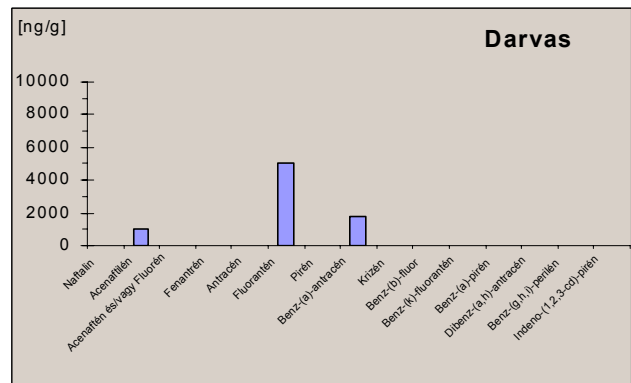
Cegléd	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	27
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	316
Antracén	
Fluorantén	
Pirén	1196
Benz-(a)-antracén	237
Krizén	4192
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	2
Benz-(a)-pirén	3
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	



5. táblázat. Cegléden mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

2. ábra. Cegléden mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

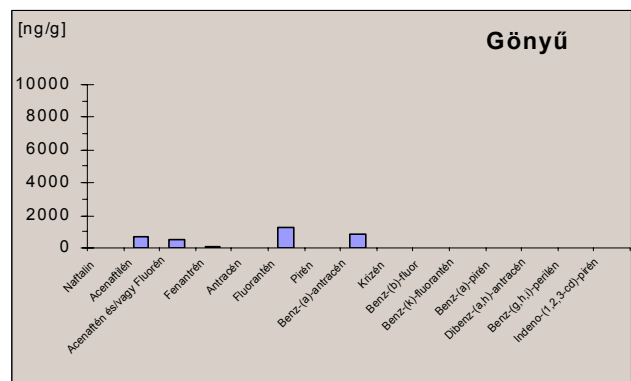
Darvas	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	987
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	
Antracén	
Fluorantén	5060
Pirén	
Benz-(a)-antracén	1817
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	< 1
Benz-(a)-pirén	
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	1
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	



6. táblázat. Darvason mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

3. ábra. Darvason mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

Gönyű	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	701
Acenaftén és/vagy Fluorén	521
Fenantrén	82
Antracén	
Fluorantén	1246
Pirén	
Benz-(a)-antracén	820
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	
Benz-(a)-pirén	
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	2
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	

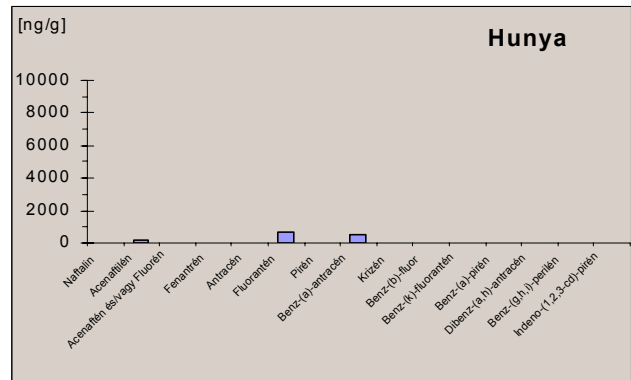


7. táblázat. Gönyűn mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

4. ábra. Gönyűn mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

Hunya	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	197
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	
Antracén	
Fluorantén	711
Pirén	
Benz-(a)-antracén	485
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	
Benz-(a)-pirén	
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	

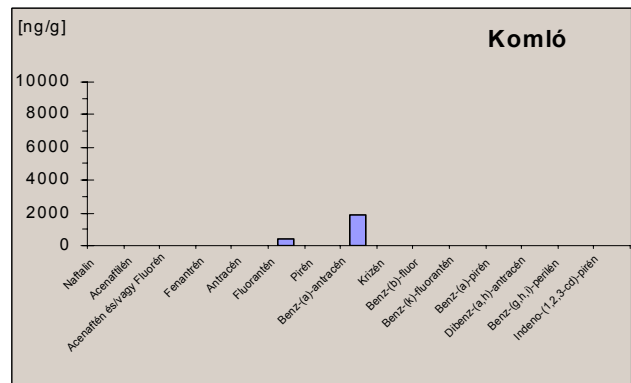
8. táblázat. Hunyán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek



5. ábra. Hunyán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

Komló	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	
Antracén	
Fluorantén	425
Pirén	
Benz-(a)-antracén	1904
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	< 1
Benz-(a)-pirén	
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	2
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	21

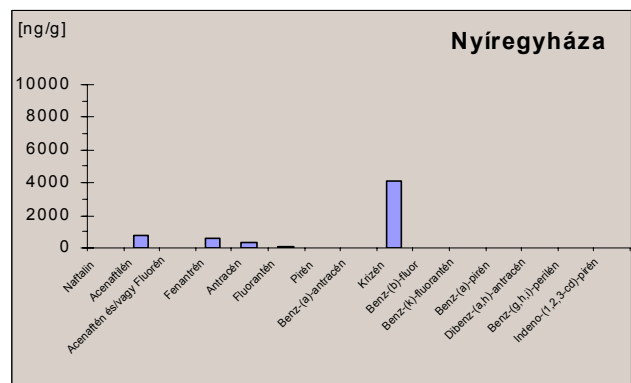
9. táblázat. Komlón mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek



6. ábra. Komlón mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

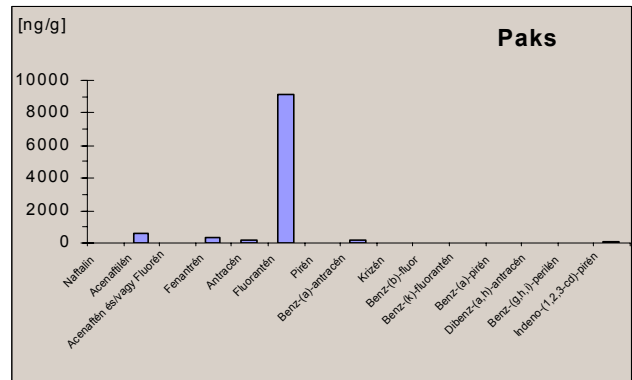
Nyíregyháza	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	746
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	611
Antracén	310
Fluorantén	122
Pirén	
Benz-(a)-antracén	
Krizén	4142
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	< 2
Benz-(a)-pirén	< 2
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	

10. táblázat. Nyíregyházán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek



7. ábra. Nyíregyházán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

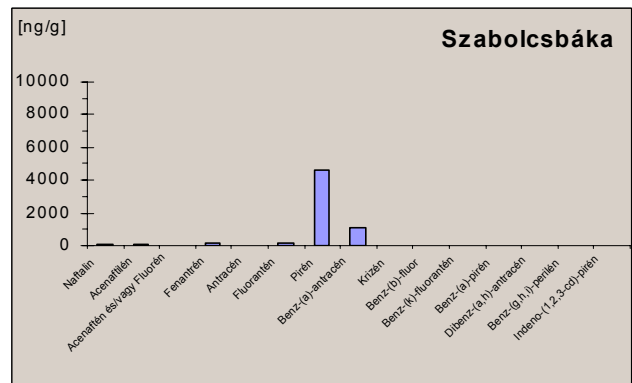
Paks	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	
Acenaftilén	582
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	355
Antracén	133
Fluorantén	9116
Pirén	
Benz-(a)-antracén	193
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	< 1
Benz-(a)-pirén	
Dibenz-(a,h)-antracén	
Benz-(g,h,i)-perilén	5
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	66



11. táblázat. Pakszon mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

8. ábra. Pakszon mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

Szabolcsbáka	
Azonosított PAH vegyület	[ng/g]
Naftalin	100
Acenaftilén	124
Acenaftén és/vagy Fluorén	
Fenantrén	162
Antracén	
Fluorantén	174
Pirén	4639
Benz-(a)-antracén	1093
Krizén	
Benz-(b)-fluor	
Benz-(k)-fluorantén	< 1
Benz-(a)-pirén	3
Dibenz-(a,h)-antracén	< 1
Benz-(g,h,i)-perilén	
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	



12. táblázat. Szabolcsbákán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

9. ábra. Szabolcsbákán mért leggyakoribb könnyű és nehéz PAH vegyületek

4. ÉRTÉKELÉS

4.1. AZ ÖSSZESÍTETT KONCENTRÁCIÓADATOK ÉRTÉKELÉSE

A 2. táblázat adataiból és az adatokat szemléltetően bemutató 1. diagramból látható, hogy a mért adatok ugyanolyan nagyságrendűek, vagyis a 10 000 – 100 000 ng/g PAH koncentráció értékeket mutatnak.

A legalacsonyabb értéket Hunyán kaptuk (6 900 ng/g), ami nem meglepő mivel Hunya egy kis forgalmú Békés megyei település, távol a nagyforgalmú utak hálózatától. A legmagasabb értéket a paksi mintában mértük (84 300 ng/g). Paks ugyanis egy iparosodott nagyváros, több gyárral, és tudvalevő az is, hogy nagyforgalmú utak mentén helyezkedik el.

4.2. A KÖNNYŰ ÉS A NEHÉZ PAH-OK MEGOSZLÁSÁRA KAPOTT ADATOK ÉRTÉKELÉSE

A mérések előtt, Viskari [16.] szakirodalmi adatai alapján azt várhattuk volna, hogy megközelítően ugyanolyan mennyiségben mutathatunk ki könnyű és nehéz PAH-okat az egyes mintavételi helyek mintáinak vizsgálatánál. A 3. és a 4. táblázatokból viszont az látható, hogy minden *mintának több, mint 99%-a volt 2-4 aromás gyűrűt tartalmazó PAH,* míg az 5 vagy 6 aromás gyűrűt tartalmazó PAH-ok koncentrációja 1 % közelében vagy az alatt váltakozott. Vagyis, a minták szinte teljes egészében könnyű PAH-okat tartalmaztak, és csak elenyésző mennyiségben fordultak elő nehéz PAH-ok. Először arra gondoltunk, hogy a mérési módszerünknek tudható be a könnyű PAH-ok felé eltolódott arány, majd amikor megnéztük Viskari [16.] által közölt koncentrációs értékeket, – akinek az *általunk továbbfejlesztett módszerével dolgoztunk* – akkor láttuk, hogy itt egészen másról van szó (ő ugyanis nem tapasztalt kitértetett csoportot a PAH-ok között).

Fekete J. és társai [4.] munkájából megtudhatjuk, hogy a könnyű 2-4 aromás gyűrűt tartalmazó PAH-ok elsősorban olajok elégetése során fellépő mellékreakciókból keletkeznek. Mivel a járművek belső égésű motorai különböző kőolaj frakciókat használnak üzemanyagként, ezek az értékek egyértelműen a közlekedési járművekre utalnak a többféle lehetséges kibocsátók (közlekedés, hőenergia-termelés, hulladékégetés, ipar) közül.

4.3. A KIMUTATOTT LEGGYAKORIBB KÜLÖNÖSEN VESZÉLYES PAH VEGYÜLETEKHEZ TARTOZÓ MÉRÉSI ADATOK ÉRTÉKELÉSE

A 16 retenciós idő alapján azonosított vegyület értékeit vizsgálva szembeötlő, hogy szinte mindegyik mintában, a többinél nagyobb mennyiségben fordult elő acenaftilén, fenantrén, fluorantén és benz-(a)-antracén.

Nézzük meg azt is, hogy melyek a leggyakoribb PAH típusú, különösen szennyező vegyületek. A 13. táblázatból láthatjuk, hogy a **fluorantén** az összes detektált PAH mennyiségének több mint **5%-a**, és további négy vegyület is több mint **1%-ában** fordul elő.

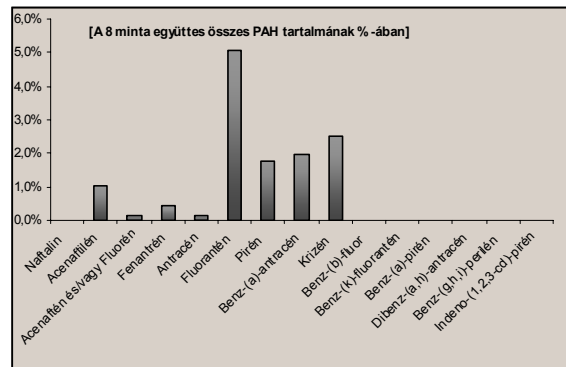
Ha visszatekintünk a – városenkénti mérési adatainkat bemutató – 5-12. számú táblázatokra, láthatjuk, hogy a legnagyobb mennyiségben kimutatott fluorantén, a benz-(a)-antracén, és az acenaftilén mindegyike hét-hét mintában fordult elő, *tehát ezek valóban a leggyakoribb PAH vegyületek közé tartoznak*. Krizént és Pirént csak két mintában azonosítottunk. Ezek a vegyületek tehát kevésbé gyakoriak.

Megemlítjük, hogy: dr. Fekete Jenő témavezető tanárunk szerint – aki a tárgykör országosan elismert szakembere – a magas fluorantén koncentráció is ugyanúgy ásványi olajok elégetésére utal, mint sok más hasonló árulkodó jel. Tehát a fluorantén nagy része ásványi olaj eredetű üzemanyagok elégetésénél keletkezik, ezen üzemanyagok fő elégetői pedig főként a közlekedési járművek. Ilyen megfontolásból a PAH-ok koncentrációjának és a járműforgalom gyakoriságának szoros – sztochasztikus – összefüggése van.

Az azonosított PAH vegyületek mennyiségét (ng/g) és az összes PAH vegyülethez viszonyított arányát %-ban kifejezve – települési térségenként – a 13. táblázat tünteti fel. Ezeket a fontos vizsgálati adatainkat a 10. ábra grafikusán szemléltetve is bemutatja.

PAH	[%]
Naftalin	< 0,1%
Acenafitlén	1,0%
Acenafitén és/vagy Fluorén	0,2%
Fenantrén	0,5%
Antracén	0,1%
Fluorantén	5,1%
Pirén	1,8%
Benz-(a)-antracén	2,0%
Krizén	2,5%
Benz-(b)-fluor	< 0,1%
Benz-(k)-fluorantén	< 0,1%
Benz-(a)-pirén	< 0,1%
Dibenz-(a,h)-antracén	< 0,1%
Benz-(g,h,i)-perilén	< 0,1%
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	< 0,1%

13. táblázat Az azonosított PAH-vegyületek mennyiségének átlaga az összes PAH-tartalom átlagának %-ában kifejezve

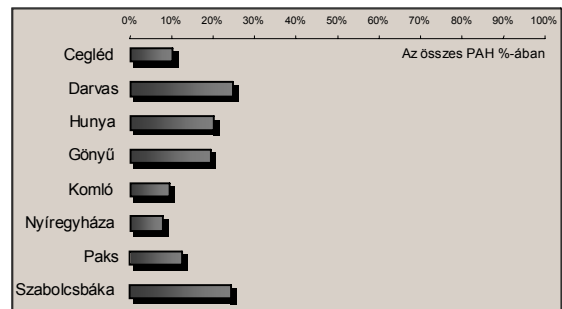


10. ábra. Az azonosított PAH-vegyületek mennyiségének átlaga az összes PAH-tartalom átlagának %-ában kifejezve

A 14. táblázatból láthatjuk, hogy az adott minta összes PAH vegyületeiből az azonosított PAH-vegyületek 8-25 %-os hányaddal szerepeltek. A nyíregyházi térség összes PAH vegyületének pl. csak 8 %-a volt az általunk azonosított veszélyes PAH vegyület, ami még elviselhetőnek mondható. A darvasi térség 25 %-os azonosított veszélyes PAH vegyület tartalma hányada már nagyon magas érték, ami a környezetvédők számára erős figyelmeztető jel is lehet.

Város	Össz-PAH [ng/g]	Azonosított PAH [ng/g]	Azonosított PAH [%]
Cegléd	60924	5976	10%
Darvas	31857	7865	25%
Hunya	6908	1394	20%
Gönyű	17459	3372	19%
Komló	25330	2352	9%
Nyíregyháza	78972	5937	8%
Paks	84304	10451	12%
Szabolcsbáka	25881	6296	24%

14. táblázat. Az azonosított PAH-ok mennyisége (ng/g-ban) és az azonosított PAH-ok az összeshez viszonyított hányada (%-ban kifejezve)



11. ábra. Az azonosított PAH-ok mennyisége (ng/g-ban) és az azonosított PAH-ok az összeshez viszonyított hányada (%-ban kifejezve)

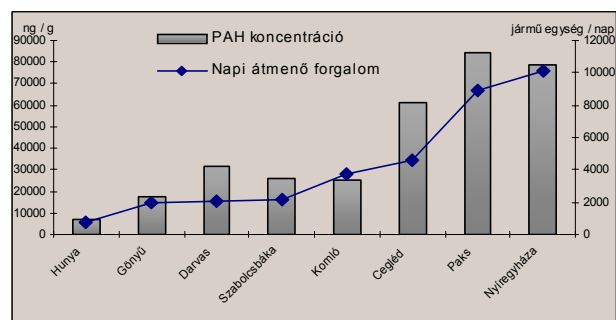
4.4. A PAH KONCENTRÁCIÓ ADATOK ÉS A KÖZÚTI FORGALOM ÖSSZEFÜGGÉSE ÉS AZ ÖSSZEFÜGGÉS ÉRTÉKELÉSE

A 4.3. számozású cikkely leírásából láthatjuk, hogy a könnyű és nehéz PAH vegyületek megoszlási aránya a közlekedési járművekre, mint fő kibocsátókra engednek következtetni. Várakozásainknak megfelelően a mért értékek *jó összhangban állnak* a mintavételi helyek környezetében lévő utak napi átmenő forgalmával, vagyis a nagyobb koncentrációkat a nagyobb forgalmú utak földrajzi térségében, nagyobb forgalmú települések környezetében mértük. Ne felejtsük el azonban, hogy a mintavétel nem közvetlenül az utak mentén, az utak mellett, hanem az utaktól távolabb, az utaktól 200 m-re történt. Tehát a PAH mérési adatok nem az utakra, vagy az útmenti közvetlen sávokra, hanem az út környezetére jellemző értékek. Vagyis a mérési adatok azt mutatják, hogy a nagymértékű járműforgalom következtében nemcsak az utak közvetlen környezete, hanem azok távolabbi környezete is jelentős mértékben szennyeződik.

A forgalomra vonatkozó adatokat a Állami Közúti Műszaki és Információs KHT táblázataiból vettük [1]. A *járműegység / nap* egy összesített mértékegység a napi átmenő forgalom kifejezésére, amely súlyozottan tartalmazza az áthaladó személygépkocsi, kamion és busz forgalmat.

A 15. táblázatban a PAH koncentráció alakulását, valamint a közúti forgalom nagyságát jellemző járműegység/nap értékeket mutatjuk be, a mintavételi helyeket a *napi átmenő forgalom* növekedése szerint rendezve. A 12. ábrán látható koordináta rendszer x-tengelyén szintén növekvő *napi átmenő forgalom* szerint rendeztük az adatsorokat.

Hely	Forgalom	PAH konc.
Hunya	749	6908
Gönyű	1998	17459
Darvas	2047	31857
Szabolcsbáka	2113	25881
Komló	3737	25330
Cegléd	4627	60924
Paks	8936	84304
Nyíregyháza	10131	78972



15. táblázat. Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakorisága és az összes PAH mennyisége (ng/g) a vizsgálati települések térségében

12. ábra. Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakorisága és az összes PAH mennyisége (ng/g) a vizsgálati települések térségében

4.5. A SAJÁT, ÉS AZ IDEGEN FORRÁSMUNKA ADATAINAK ÖSSZEVETÉSE, AZ ÖSSZEVETÉSI LEHETŐSÉG ÉRTÉKELÉSE

Munkánk eredményének teljesebb körű értékeléséhez a mérési adatainkat összevetjük, összehasonlítjuk mások⁶ – tanulmányi munkája során feljegyzett – mérési adataival. A saját mérési adatainkat (lásd 16. táblázat) összehasonlítva az említett forrásanyag adataival (lásd 17. táblázat) azt látjuk, hogy a nagyságrendek mindkét forrásmunka adatainál ugyanazok.

Város	Össz-PAH ng/g	Forgalom jármű_egység/nap
Cegléd	60924	4627
Darvas	31857	2047
Gönyű	17459	1998
Hunya	6908	749
Nyíregyháza	78972	10131
Paks	84304	8936
Szabolcsbáka	25881	2113

16. táblázat. Az összes PAH tartalom a saját mérési adatainkkal

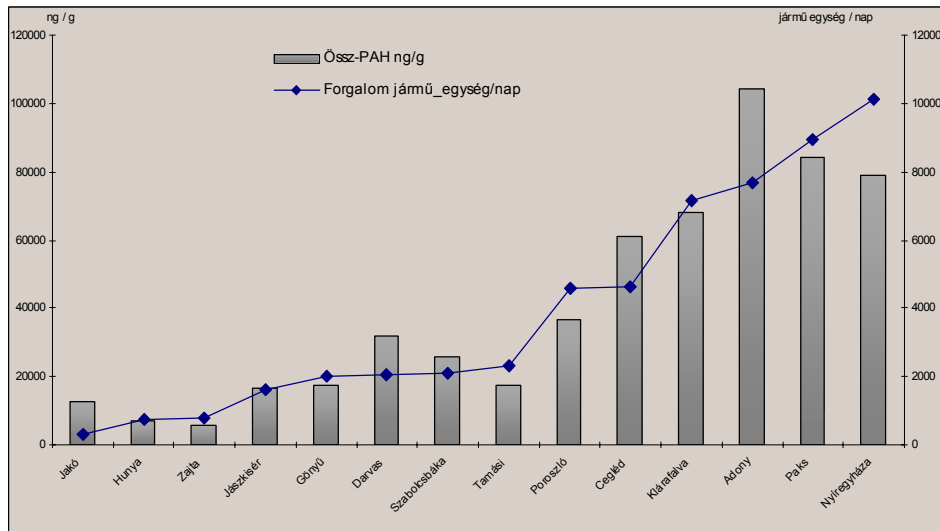
Város	Össz-PAH ng/g	Forgalom jármű_egység/nap
Adony	104500	7693
Jakó	12592	320
Jászkisér	16740	1612
Klárafalva	68049	7145
Poroszló	36710	4565
Tamási	17255	2320
Zajta	5804	781

17. táblázat. Az összes PAH tartalom mások mérési adataival

A nagy települések közelében társaink is nagyobb koncentráció értékeket mutattak ki. Ezen hallgatói csoportok mérési adatait felhasználva szemléltetően is ábrázoltuk (lásd 13. ábra) több magyar település összes PAH koncentrációjának értékeit (ng/g), illetve a település közelében lévő – nagyobb utakra jellemző – napi átmenő forgalom (járműegység/nap) adatait. A diagram azt mutatja, hogy az általunk mért PAH koncentráció értékek jól illeszkednek az összehasonlító mérési adatokhoz.

A 13. ábráról látható, hogy az általunk mért PAH-ok mennyiségi adatai (ng/g) jól illeszkednek az összehasonlító forrásmunkákban szereplő PAH-ok mennyiségi (ng/g) adataihoz. Az átmenő járműforgalom gyakorisági adatait nagyságrend szerint sorba rendezve – amit a vonaldiagram ábrázol – ugyanazon térségek PAH-mennyiségei (ng/g) is – amit az oszlop diagramok ábrázolnak – folyamatos és csaknem teljesen párhuzamos növekedést mutatnak. Tehát a PAH-okra vonatkozó saját mérési adataink és az összehasonlító mérési adatok egymást kölcsönösen igazolják. A környezetszennyezés ügyével foglalkozó szakembereknek pedig még kevésbé feltárt **összefüggésekről szolgáltatnak a mindennapi gyakorlat számára is nagyon fontos, és többoldalúan hasznosítható mérési adatsorokat.**

⁶ Az összehasonlító forrásmunka méréseit végzők névsora: Balázsne Borbély Erzsébet, Bán Zsuzsanna, Gábor György, Gyürky Borbála, Juhász Zoltán, Illés Rita, Könyves Gizella és Oláh Márta



13. ábra Az átmenő közúti járműforgalom napi gyakoriságának és az összes PAH vegyület nagyságának összefüggése Magyarország különböző településeinek térségében

ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálati témánk a környezetvédelmi analitika – környezetállapot felémérés tárgykörébe tartozik. Dolgozatunkban a környezetszennyező anyagok nagy csoportjából a policiklusos aromás szénhirogének (PAH-ok) meghatározásával foglalkozunk. A levegőből lerakódott PAH-ok mennyiségét mérjük Magyarország települési térségeiből származó mohanövény-mintákkal.

A vizsgálatok mérési adataiból megállapítottuk, hogy:

1. A könnyű és nehéz PAH-ok összesített koncentrációja sajnos hazánkban is *magas értéket* mutat.
2. A könnyű és nehéz PAH-ok egymáshoz viszonyított aránya – térben és időben – alig változik.
3. A könnyű és a nehéz PAH-ok leggyakrabban előforduló különösen veszélyes vegyületei a *fluorantén, a benz-(a)-pirén és az acenaftén.*

Röviden fogalmazott megállapításainkat valamivel bővebben fejtegetve:

A környezetszennyeződés témakörében folytatott vizsgálódásaink azt igazolják, hogy **5 000-100 000 ng** veszélyes **PAH-vegyület** felhalmozódás van **1 g mohanövényben**, vagyis az általunk „befogadónak” elismert élőnövényi telepanyagban (biomonitoráló telepanyagban). Méréseink arra is rávilágítanak, hogy a nagyvárosokhoz közeli térségek PAH típusú környezetszennyezés koncentrációs értékei nagyobbak, mint a kisebb települések közelében mért koncentrációk.

A könnyű PAH-ok (pl. naftalin, krizén) és a nehéz (pl. benz-(b)-fluor, indeno-(1,2,3-cd)-pirén) mennyisége összes PAH szennyező anyag mennyiségének több mint 99 %-a illetve kevesebb mint 1 %-a. Jó tudni, hogy a könnyű PAH vegyületek főként az ásványi olajok,

ásványi üzemanyagok elégetése során képződnek. Következésképpen a különböző ásványolaj-üzemű és a különböző benzin üzemű gépeink lehetnek fő termelői és kibocsátói környezetünk veszélyes szennyező anyagainak.

A következő legveszélyesebb 16 PAH vegyület koncentrációját vizsgáltuk: naftalin, acenaftén, fluorén, fenantrén, antracén, fluorantén, pirén, benz-(a)-antracén, krizén, benz-(a)-pirén, benz-(g,h,i)-perilén, dibenz-(a,h)-antracén, benz-(b)-fluorantén, benz-(k)-fluorantén, indeno-(1,2,3-cd)-pirén. Ezek közül a retenciós idő alapján azonosított vegyületek mennyisége 10-25 %-a minta összes PAH-mennyiségének. A leggyakoribb és a legnagyobb mennyiségben kimutatott PAH-ok a k fluorantén, a benz-(a)-antracén, és az acenaftilén voltak.

UTÓSZÓ

Munkánk egy különösen veszélyes környezetszennyező anyagcsoportra, a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH-ok) *koncentrációjának meghatározására, ill. mérésére terjedt ki.*

Elvégeztük a rendelkezésünkre álló környezetszennyezés – témánkkal kapcsolatos – szakirodalom feldolgozását, majd a PAH-ok meghatározásához méréseket végeztünk az ország különböző helyeiről begyűjtött mintákból. A mérési adatokat táblázatokban foglaltuk össze és diagramokon is bemutattuk. Ezután a legfőbb mérési eredményeket *összevetettük* más hallgatói csoportok mérési adataival. Mindezek után *értékeltek* a végzett vizsgálati munkákat és a kapott eredményeket. A dolgozat összefoglaló részében ***leírtuk a főbb megállapításainkat és a főbb eredmények alkalmazási lehetőségeit vázoltuk.*** Rávilágítottunk arra is, hogy az országos helyzetkép kialakítását és a magyarországi PAH-szennyezettség feltérképezését segítik elő a dolgozatban többoldalú elemző munkával összeállított adatsoraink.

A környezetvédelmi analitika helyzetfeltáró szerepének hatalmas területe még nagyon sok helyen mutat hiányosságot. A környezet állapotának feltárása sürgető feladatunk.

Ezzel a munkánkkal a szerves vegyületek közül a policiklusos aromás szénhidrogénekről szóló *mérési adatokat bővítettük.* Ezen mérések elvégzésével azonban még nem fejeződött be a tervezett munkánk. Az elkövetkezendő időkben Magyarország egész területéről származó mintákat tervezünk hasonló módon feldolgozni, és eredményeinket tudományos publikációkban összefoglalni.

Az eredmények hasznos segítséget nyújthatnak majd nemcsak a saját, hanem mások gondjainak megoldásához is. A kapott adatok egy része megerősíti a korábbi és a

párhuzamosan folyó kutatások eredményeit, más része viszont további vizsgálatokhoz nyújt kiegészítő anyagokat.

Reméljük, hogy munkánkkal sikerült számottevően előbbremozdítani a környezeti állapotunk feltérképezésének nemes ügyét.

Függelék

F1. TÁJÉKOZTATÓ IRODALOM A PAH-OK FŐBB TULAJDONSÁGAIRÓL

F1.1. A PAH-OK JELENTŐSÉGE A KÖRNYEZETSZENNYEZŐ ANYAGOK KÖZÖTT

A PAH-ok, vagyis a policiklusos aromás szénhidrogének egy nagyon fontos csoportot képviselnek a szennyező anyagok nagy csoportjában. Mennyiségben a PAH-ok csak nagyon picike részét képezik ennek a nagy csoportnak, a mérhető koncentrációk mindössze a ng/g, ng/m³, ng/kg tartományba esnek (esetleg a µg/g, µg/kg, µg/m³), ami elenyészőnek tűnik például egy vágóhíd vagy egy vegyi üzem óriási mennyiségű és nagy koncentrációjú szervesanyag szennyezéséhez képest. A PAH-ok azonban kis koncentrációban is rendkívül szennyezőek. A PAH-ok azonban kis koncentrációban is rendkívül szennyezőek. A PAH-ok egészségkárosító hatásáról az F1.5. függelékben olvashatunk (lásd 46. oldal).

F1.2. A BIOMONITORÁLÁS JELENTŐSÉGE

A szakterületen kevésbé tájékozott olvasó számára szeretnénk pár sorban elmondani, miért mohákat használunk levegő szennyezettségi adatok felderítésére. Közvetlenül a levegőből történő mérés során nagy a mérések függése a pillanatnyi környezeti feltételektől (szélirány, elhaladó autók, mintavételi magasság, hőmérséklet), továbbá a PAH-vegyületeknek méréshez szükséges mintadúsítás csak körülményesen oldható meg.

Ezért a környezetvédelmi analitikában elterjedt szokás a szennyező anyagok koncentrációjára úgynevezett *indikátor* jelenlétéből és *biomonitorálható* szervezetek szennyezőanyag tartalmáról a közeg szennyezettségére következtetni. Ezekben a szervezetekben, a levegőben,

a vízben vagy a talajban lévő szennyező anyag feldúsul, és az adott környezetre jellemző értéket vesz fel.

Először Rühling és Tyler [14.] 1968-ban javasolta **mohák** használatát (nehézfémek) biomonitorálásra. A mohavévény (esetünkben a *Hypnum cupressiforme*) több szempontból alkalmasnak mutatkozik nehézfémek, PAH-ok, vagy más szennyező anyagok biomonitorálására: a földön nagy mértékben elterjedt, sokféle éghajlati és időjárási viszony között megtalálható, mivel a mohatelepek helyhez kötöttek, így a szennyező anyagok időben korlátlanul érintkezhetnek a mohával, továbbá a moha felszínén és magában a mohavévényben feldúsult szennyezőanyag viszonylag könnyen hozzáférhető.

Rühling [13.] összefoglalójából kiderül, hogy a „mohavévényekből származó szennyezettségi adatok egy *relatív értéket képviselnek*, amiből a szennyező anyag koncentrációja egyfajta kalibrációs faktorról határozható meg. A kalibrációs faktor értéke függhet a szennyező anyag minőségétől, a levegő nedvességtartalmától illetve a szennyező anyag részecskék méretétől.”

Ezzel a témával (biomonitorálás mohavévények segítségével) itt nem akarunk részletesen foglalkozni, mivel meghaladja dolgozatunk kereteit, azonban érdeklődés esetén javasoljuk Markert et al. [8.] és Torun et al. [15.] munkáinak tanulmányozását.

F1.3. A POLIAROMÁS SZÉNHYDROGÉNEK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI, FIZIKAI TULAJDONSÁGOK

A poliaromás szénhidrogéneket Fekete J. és társai [4.] munkája alapján mutatjuk be.

A poliaromás szénhidrogének két vagy több aromás gyűrűt tartalmazó vegyületek (14. ábra). Vízben rosszul, zsírokban jól oldódnak. Szilárd anyagok, forráspontjuk 300-600 °C közé esik, gőznyomásuk alacsony. Néhány PAH fontosabb fizikai adatait a 18. táblázat tartalmazza (Nagy és társa [10.] alapján).

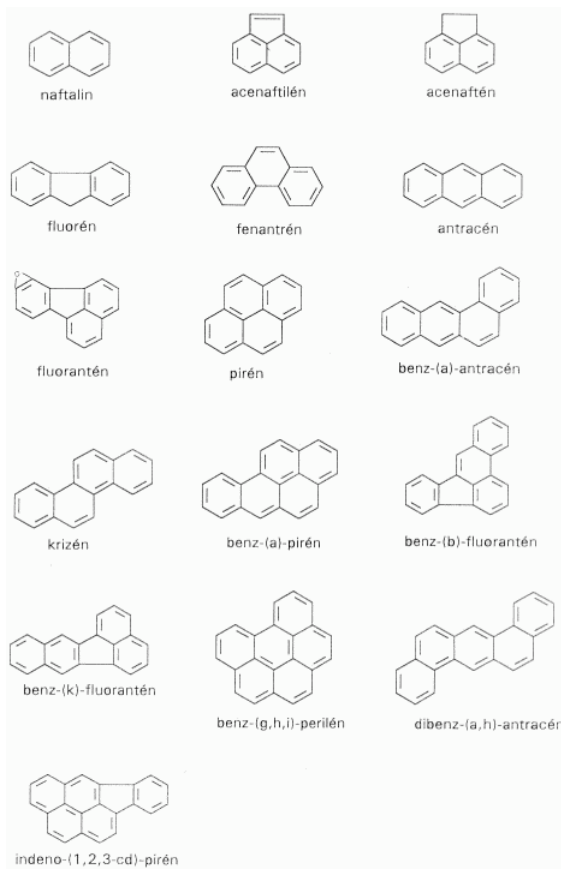
IUPAC- elnevezés	Összegképlet	Molekulatömeg	Forráspont	Oldékonyság
		[g/mol]	[°C]	[mg/l]
naftalin	C ₁₀ H ₈	128	218	30
acenaftén	C ₁₂ H ₁₀	154	279	3,47
fluorén	C ₁₃ H ₁₀	166	293	1,98
fenantrén	C ₁₄ H ₁₀	178	338,4	-
antracén	C ₁₄ H ₁₀	178	340	0,073
fluorantén	C ₁₆ H ₁₀	202	383,5	0,26
pirén	C ₁₆ H ₁₀	202	393,5	0,135

benz-(a)-antracén	C ₁₈ H ₁₂	228	437,5	0,014
krizén	C ₁₈ H ₁₂	228	441	0,002
benz-(a)-pirén	C ₂₀ H ₁₂	252	492,5	-
benz-(g,h,i)-perilén	C ₂₂ H ₁₂	276	542	-
dibenz-(a,h)-antracén	C ₂₂ H ₁₄	278	535	-
benz-(b)-fluorantén	C ₂₀ H ₁₂	252	481,2	-
benz-(k)-fluorantén	C ₂₀ H ₁₂	252	481	-
indeno-(1,2,3-cd)-pirén	C ₂₂ H ₁₂	276	534	-

18. táblázat. Fontosabb PAH-ok fizikai adatai

Apoláris vegyületek révén apoláris anyagokban oldódnak. Főbb szerves oldószereik a hexán, ciklohexán, pentán és a kloroform. Vízben nagy koncentrációban vannak jelen lebegő részecskékre tapadva. A négyenél több gyűrűből álló vegyületek a levegőben szilárd szennyezőkön adszorbeálódnak.

Kiterjedt elektronrendszerük révén fluoreszcensen gerjeszthetők, UV-abszorpciós koefficiensük viszont kicsi. A napfény UV-összetevői hatására fotodegradációt szenvednek. Lebontásukra csupán néhány talajbaktérium képes.



14. ábra. A vizsgált PAH vegyületek szerkezeti képlete

F1.4. A POLIAROMÁS SZÉNHYDROGÉNEK KÉPZŐDÉSE ÉS ELŐFORDULÁSA A KÖRNYEZETBEN

Fekete J. és társaitól [4.] megtudjuk, a PAH-ok a *tökéletlen égés során* keletkeznek (az égés mikrokörnyezetében oxigénhiány lép fel). Magas hőmérsékleten különféle szubsztituálatlan kondenzált gyűrűs rendszerek keletkeznek attól függően, hogy milyen szerves anyagot égettek el. A hőmérséklet növelésével a PAH-ok mennyisége több százszorosára növekedhet. A kőolaj és szén képződésénél (karbonizáció) szintén létrejöhetnek PAH-ok. Különböző kőolajok PAH-összetétele nagyon hasonlít egymásra, viszont ez az összetétel eltér az égésből származó PAH-elegyektől.

Évente több ezer tonna PAH kerül ki a környezetbe. Négy fő emissziós forrást különíthetünk el: közlekedés, hőenergiatermelés, hulladékégetés, ipar (aszfaltgyártás, krakkolás).

A benzin- és dieselüzemű személy- és tehergépkocsik kipufogógázaiból mintegy 150 PAH-ot azonosítottak. Az emisszió mértékét befolyásolja a motor működési hőmérséklete, kora, típusa, a benzin kiindulási PAH-tartalma és a benzin-levegő aránya. Különösen a dieselüzemű autók bocsátanak ki nagyobb mennyiségben PAH-okat. Hőenergia termelése alatt a háztartási tüzelést (olaj-, fa-, széntüzelés) és a hőerőművek működését értjük. A háztartásban az egyes szénfajták PAH-emissziója között nagyságrendbeli különbség is lehet. A hőerőművek ciklonjai és porleválasztói a korom nagy részét eltávolítják, és az égéshez szükséges oxigén mennyiségét biztosítják.

A globális mértékben is jelentős PAH-kibocsátás mellett nem elhanyagolandó forrás a dohányfüst sem, amelyben több karcinogén poliaromás vegyület is fellelhető. Köztük nemcsak a normál PAH-ok, hanem a nitro-PAH-ok (indol, karbazol) és az oxigéntartalmú PAH-ok (benzofurán) is jelentős számban előfordulnak. Egy dohányos 20 füstszűrő nélküli cigaretta elszívásával 0,5-0,54 µg benz-(a)-pirént lélegez be naponta, 20 db füstszűrőssel pedig 0,2- 0,26 µg-ot. Összehasonlításképpen egy szennyezett városi levegőben élő ember 12 óra alatt 0,05-1,25 µg benz-(a)-pirént lélegez be.

A környezetbe kikerülő PAH-ok megtalálhatók a levegőben (porrészecskékre tapadva), a talajban és az élővizekben is. A PAH-ok terjedése elsősorban az időjárástól és az éghajlattól függ, amelyek meghatározzák a levegő állapotát: hőmérséklet, légnyomás, nedvességtartalom, szélirány stb. Az időjárás változásait különböző légáramlatok idézik elő, amelyek folytonos mozgása keveri a troposzférát. Ezen hatás folytán valósul meg a **PAH-ok mozgása a légtérben**, és így változik koncentrációjuk a forrástól egyre távolodva. A PAH-ok koncentrációjának csökkenését a nagyobb sebességű szelek idézik elő, mivel ezek turbulenciája jelentős. A domborzat és a beépítettség általában csökkenti a szélsőséget, ugyanakkor káros helyi turbulenciákat idézhet elő, ezért a kibocsátott légszennyezők hamarabb visszacsapódnak a talajfelszínre mielőtt felhígulhattak volna. Sajnos, a szállópor segítségével eme erősen toxikus vegyületek a gyümölcsök, zöldségek felületén is megtapadnak, sőt, diffúzióval a növények belsejébe juthatnak. A sárgarépa különösen jól akkumulálja a szennyezéseket. Ezért is fontos fogyasztás előtt minden egyes zöldség és gyümölcs alapos lemosása.

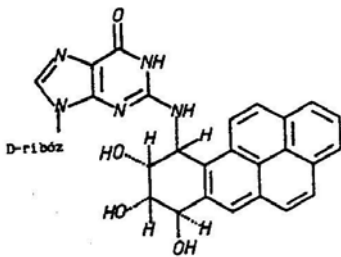
F1.5. A POLIAROMÁS SZÉNHYDROGÉNEK EGÉSZSÉGHÁRÓSÍTÓ HATÁSA

A PAH-ok emberi szervezetbe legfőképp a légutakon keresztül kerülnek, de bőrön keresztül is felszívódhatnak. (Ezért a munka során a PAH-standardok hígításánál kesztyűben, fülke alatt, különös elővigyázatossággal szabad csak dolgozni.)

Egyértelműen bizonyított, hogy **egyes poliaromás szénhidrogének a legrákkeltőbb vegyületek közé tartoznak**, tehát minden olyan tevékenység veszélyezteti életünket, amely során nő az előfordulásuk. A PAH-ok közül a legnagyobb karcinogenitást a benz-(a)-pirén mutatja. Plott 1775-ben felfigyelt rá, hogy a kéményseprők közül feltűnően sokan kapnak bőrrákot, amelyet valószínűleg kátránykomponensek okoznak. A kátrányból később kinyerték a PAH-okat és igazolták karcinogén hatásukat.

Hasonló a XIX. század végi és XX. század eleji gyapjú és pamutgyárakban a fonómunkások esete, ahol szintén nagy volt a bőrrák gyakorisága. Az orsókát nem megfelelően tisztított ásványi olajjal kenték, mely számos PAH-ot tartalmazott. A bőrrák a kézen és a karokon fordult elő, és gyakori volt a here-és hüvelyrák is.

A normális sejt rákos sejtté válásának folyamatában döntő fontosságú lépés a PAH-ok reakciója a genetikai információt hordozó molekulával, a DNS-sel. A PAH-ok epoxidjukon keresztül kötődnek a DNS-hez. Más PAH-származékok reakciója lassabban zajlik le. A karcinogén 7 β ,8 α -dihidrox-7,8,9,10-tetrahidro-benz-(a)-pirén-9 α ,10 α -epoxid a DNS guaninjával reagál, a kötés a benz-(a)-pirén 10-es szénatomja és a guanin 2-es szénatomjának aminocsoportja között jön létre (lásd 15. ábra).



15. ábra. A 7 β ,8 α -dihidrox-7,8,9,10-tetrahidro-benz-(a)-pirén-9 α ,10 α -epoxid kötődése a DNS guaninjához

F1.6. A MOHANÖVÉNY (HYPNUM CUPRESSIFORME) BEMUTATÁSA

Teljesen közönséges moha, a leggyakoribbak közé tartozik (mivel a környezeti szennyezésekkel szemben igen ellenálló). Nő fatörzsön, fatuskón, ág-elágazásokban, szikla kiszögelésein, falon, tetőn, stb. Egyaránt megél napsütötte és árnyékos helyen. Jellegzetes a megjelenése sarló alakban vékonyodó, csúcsban végződő leveleivel. A levelének erezete rövid és kettős. A mohának két változata ismert: a *var. filiforme* és a *var. subjulaceum*.



16. ábra. *Hypnum cupressiforme* mohatelep

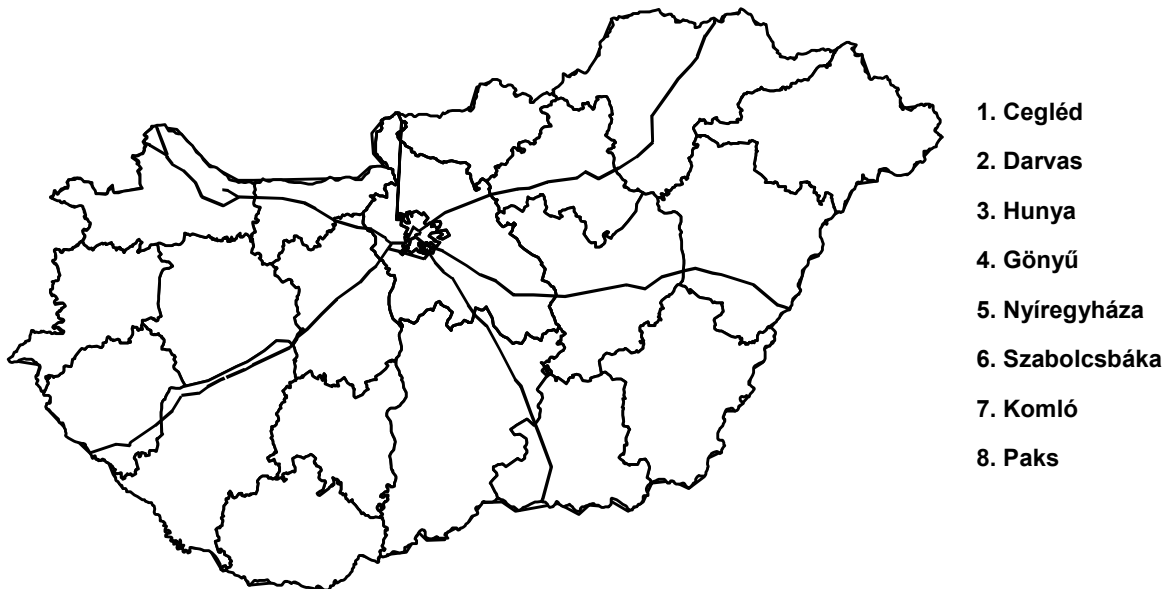


17. ábra. A mohalevél szerkezete

A teljesség kedvéért a mohanövényről ill. leveléről egy-egy képet is bemutatunk. A képen jól megfigyelhető a mohalevelek szerkezete, valamint érzékelhető, hogy nem rendelkeznek többrétegű kutikulával, mint a virágos növények (Hale [5.] alapján.). A kutikula hiánya különösen alkalmassá teszi a mohákat szennyező anyagok akkumulálására. Ezen tulajdonságok miatt használhatjuk fel őket szennyező anyagok koncentrációjának térbeli és időbeli nyomon követésére, azaz biomonitorálására.

F2. KIEGÉSZÍTÉS A VIZSGÁLATOKHOZ

F2.1. A MINTAVÉTELI HELYEK



18. ábra. A mintavételi helyek Magyarország térképén

F2.2. A MINTAELŐKÉSZÍTÉS ESZKÖZEI

- ultrahangos fürdő (Tesla)
- rotadeszt (Büchi Rotavapor & Rotadest)
- főzőpoharak, csiszolatos gömblobbikok, szűrők, szűrőpapír, dörzsmozsár, mérőhenger, mintatartó üvegek
- membránszűrők (Millipore Millex – LCR Hydrophyllic PTFE 0,5 μm)

F2.3. A MINTAELŐKÉSZÍTÉS SORÁN FELHASZNÁLT VEGYSZEREK

- desztillált hexán
- desztillált aceton
- desztillált diklórmetán
- gradiens tisztaságú acetonitril
- kétszer desztillált víz
- nitrogéngáz
- szilikagél

F2.4. A FOLYADÉKKROMATOGRÁFIÁS RENDSZER

- nagynyomású szivattyú: L 7100 (1 ml/min áramlási sebesség)
- mintaadagoló: L 7250 (injektált mennyiség : 20 µl)
- kolonna: Supercosil-LCPAH
- hossz: 15 cm
- átmérő: 4,6 mm
- töltet átmérője: 5 µm
- fluoreszcens detektor: L 7480
- A fluoreszcens hullámhossz program:

0-8 percig:	- gerjesztés	400 nm-en
	- emisszió	500 nm-en
8-22 percig:	- gerjesztés	290 nm-en
	- emisszió	430 nm-en
22-30 percig:	- gerjesztés	300 nm-en
	- emisszió	500 nm-en
- UV- detektor: L 7400, mérési hullámhossz: 255 nm

F2.5. A STANDARD KALIBRÁLÓELEGY ÖSSZETÉTELE

A standard kalibrálóeleget a rendelkezésre álló törzsoldatból 10-szeres hígítással készítettük, összetételét a 19. táblázat tartalmazza.

Standard kalibrálóeleget összetevői	Koncentrációk [ng/ml]
acenaftén	1000
fluorantén	200
naftalin	1000
benz-(a)-antracén	100
benz-(a)-pirén	100
benz-(b)-fluor	200
benz-(k)-fluorantén	100
krizén	100

acenaftilén	200
antracén	100
benz-(g,h,i)-perilén	200
fluorén	200
fenantrén	100
dibenz-(a,h)-antracén	200
pirén	100
indeno-(1,2,3-cd)-pirén	100

19. táblázat. A standard kalibrálóelegy összetevői

F2.6. KALIBRÁCIÓS ADATOK

PAH I.	t _R	c _S , mg/ml	A _S	aSt	Detektor	
Naftalin	2,44	1000	5066	5,066	Channel1 UV detektor	
Acenaftilén	2,56	2000	15062	7,531		
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	1200	11805	9,8375		
Fenantrén	3,11	100	10436	104,36		
Antracén	3,44	100	20119	201,19		
Fluorantén	3,77	200	5590	27,95		
Pirén	4,29	100	2400	24		
Benz-(a)-antracén	5,61	100	5782	57,82		
Krizén	6,33	100	8901	89,01		
Benz-(b)-fluor	8,32	200	2604303	13021,515		Channel2 Fluoreszcens detektor
Benz-(k)-fluorantén	10,05	100	8730758	87307,58		
Benz-(a)-pirén	12,13	100	3044575	30445,75		
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	200	2668285	13341,425		
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	200	1754284	8771,42		
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	100	3515164	35151,64		

PAH II.	t _R	c _S , mg/ml	A _S	aSt	Detektor
Naftalin	2,46	1000	5455	5,455	Ch
Acenaftilén	2,59	2000	16234	8,117	an
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,87	1200	12673	10,56	ne
Fenantrén	3,17	100	12079	120,79	I1
Antracén	3,54	100	23467	234,67	UV
Fluorantén	3,91	200	6927	34,635	de
Pirén	4,46	100	2801	28,01	te
Benz-(a)-antracén	5,97	100	6269	62,69	kt
Krizén	6,08	100	9015	90,15	or
Benz-(b)-fluor	9,12	200	3132062	15660,31	F1
Benz-(k)-fluorantén	11,14	100	9836776	98367,76	deuoCh
Benz-(a)-pirén	13,35	100	3522565	35225,65	te re an
Dibenz-(a,h)-antracén	17,2	200	3096492	15482,46	kt sz ne
Benz-(g,h,i)-perilén	19,9	200	2111313	10556,565	or ce I2
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,79	100	37151	371,51	ns

20. táblázat. HPLC kalibrációs adatok I

21. táblázat. HPLC kalibrációs adatok II

A számítások során végig a 20. táblázatban látható kalibrációs adatokkal dolgoztunk, két esetet kivéve. (Ez a ceglédi minta-hexános kinyerésének oldata, illetve nyíregyházi minta-hexán-acetonos kinyerésének oldata volt, ahol a 21. táblázatot használtuk. Ezen mintaoldatok koncentrációját csak későbbi időpontban tudtuk lemérni, és ezért új kalibrációs adatsort kellett felvennünk.).

F2.7. AZ EREDMÉNYÜL KAPOTT HPLC-KROMATOGRAMOK

Egy mintavételi helyhez négy különböző kromatogram tartozik. Kettő a hexános kinyeréshez és kettő a hexán-acetonos kinyeréshez. Mindkét kinyerés esetén az első kromatogram az UV detektor jelét mutatja, a második kromatogram pedig a fluoreszcens detektor jelét.

Úgy gondoljuk, hogy a standard kalibráló elegy, valamint három mintavételi hely (Hunya, Paks és Szabolcsbáka) kromatogramjának a bemutatása elegendő ahhoz, hogy a mérésről

átfogó képet kapjunk.(Terjedelmi okokból nem kívánjuk az összes mintavételi hely kromatogramját csatolni).

A kromatogramok jelölései:

- „*st10**”: Standardok
- „*Channel : 1*”: UV detektor
- „*Channel 2*”: fluoreszcens detektor
- „*TelepülésB*”: Hexános extrakció
- „*TelepülésC*”: Hexán-Acetonos extrakció
- *RT*: retenció idő percben
- *Area*: csúcs alatti terület mV/percben

F2.8. SZÁMÍTÁSI TÁBLÁZATOK

A számítási táblázatok Microsoft Office 97 programmal készültek.

A *PAH oszlopban* annak a standard kalibrációs vegyületnek a neve olvasható, amelyiknek a retenciós ideje a legközelebb esett az adott csúcs retenciós idejéhez, vagyis annak a standard kalibrációs vegyületnek amelyiknek a kalibrációs értékét felhasználtuk a közelítéshez.

A t_R *oszlopban* a kalibráláshoz felhasznált standard kalibrációs vegyületretenciós ideje látható.

Ha a minta kromatogramján lévő csúcs retenciós ideje a $t_R-0,0x$ és a $t_R+0,0x$ *oszlopokban* megadott intervallumba esett, a csúcsot retenciós idő alapján azonosítottuk és a vegyület nevét vastagon szedtük.

Az a_{st} *oszlopban* a kalibrációhoz felhasznált standard kalibrációs vegyület csúcs alatti területét írtuk.

A t_R és *Area oszlopba* a minta kromatogramján lévő csúcs retenciós idejét illetve csúcs alatti területet írtuk.

A *Konc ng/ml oszlopban* a mintaoldat PAH koncentrációja, míg a *ng/g oszlopban* a bemérési tömegré átszámított koncentráció érték került.

A könnyű PAH-ok (naftalin – krizén) koncentrációjának számításához az UV detektor jelét használtuk, a nehéz PAH-okéhoz (benz-(b)-fluorantén – indeno-(1,2,3-cd)-pirén) pedig a fluoreszcens detektor jelét. Ennek megfelelően a mezőket világosabbra illetve sötétebbre színeztük.

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,46	2,41	2,51	5,455	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,59	2,54	2,64	8,117	2,52	61388	7563	1528
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,87	2,82	2,92	10,56083	2,98	69815	6611	1336
Fenantrén	3,17	3,12	3,22	120,79	3,17	160329	1327	268
Antracén	3,54	3,49	3,59	234,67	3,6	325739	1388	280
Fluorantén	3,91	3,86	3,96	34,635	3,74	876598	25310	5113
Fluorantén	3,91	3,86	3,96	34,635	4,1	773064	22320	4509
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,36	1431230	51097	10323
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,74	984781	35158	7103
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,98	1805105	64445	13019
Benz-(a)-antracén	5,97	5,92	6,02	62,69	5,56	1448368	23104	4667
Krizén	6,08	6,03	6,13	90,15	6,06	1870473	20748	4192
Krizén	6,08	6,03	6,13	90,15	6,99	913670	10135	2047
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	8,79	101612	6	1,3
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	9,13	252281	16	3,3
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	9,93	308747	20	4,0
Benz-(k)-fluorantén	11,14	11,04	11,24	98367,76	11,19	750910	8	1,5
Benz-(a)-pirén	13,35	13,25	13,45	35225,65	12,63	697681	20	4,0
Benz-(a)-pirén	13,35	13,25	13,45	35225,65	13,43	546477	16	3,1
Benz-(a)-pirén	13,35	13,25	13,45	35225,65	14,89	52002	1	0,3
Dibenz-(a,h)-antracén	17,2	17,1	17,3	15482,46	18,22	266955	17	3,5
Benz-(g,h,i)-perilén	19,9	19,8	20	10556,57	20,17	50785	5	1,0
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,79	22,69	22,89	371,51	0	0	0	0,0

Össz-PAH (ng/g)

269315

54407

Bemérés (g)

4,95

Minta térfogat (ml)

1

Cegléd

Extrakció

Hexán

Ebből:

Könnyű PAH

ng/g

54385

Nehéz PAH

22

Azonsított:

4468

22. táblázat. A ceglédi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,51	1000	133	27
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,95	924	94	19
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,14	24460	234	48
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,35	8904	44	9,0
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,69	72839	2606	530
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	9,79	53036	1898	386
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	4,04	85763	3068	624
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,3	141211	5884	1196
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,64	105340	4389	892
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,87	172206	7175	1458
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,42	71543	1237	251
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,57	67500	1167	237
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,89	162229	2806	570
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,56	20681	232	47
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,76	79845	897	182
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,31	36329	3	0,6
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,71	763985	59	12
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,58	2190006	25	5,1
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,31	614345	20	4,1
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,84	29344	1	0,2
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,73	1268659	42	8,5
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,82	19094	1	0,3
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	16,35	62394	5	1,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,96	355368	41	8,2
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	0	0	0	0,0
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,81	85986	2	0,5

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Cegléd

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

32064

6517

4,92

1

Hexán-Aceton

ng/g

6477

40

1508

23. táblázat. A ceglédi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenafilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,51	20242	4838	987
Acenafén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	2,98	31066	536	109
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,17	73467	1267	259
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,38	30185	270	55
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	76756	687	140
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,74	241464	15550	3174
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,37	335602	25170	5137
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,75	225650	16924	3454
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,99	377001	11736	2395
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,57	285972	8903	1817
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,08	350946	7097	1448
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7,02	149940	3032	619
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,83	100206	14	2,8
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,83	10032	1	0,3
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,15	157070	22	4,4
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,02	3674	0	0,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,24	455980	9	1,9
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,71	131889	8	1,6
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,49	241805	14	2,9
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43			0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,31	33658	7	1,4
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,34	21442	1	0,2

Össz-PAH

Bemérés (g)

96087

19610

Minta térfogat (ml)

4,9

Darvas

1,8

Extrakció

Hexán

Ebből:

Könnyű PAH

ng/g

Nehéz PAH

19594

Azonsított:

16

5978

24. táblázat. A darvasi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenafilén	2,56	2,51	2,61	7,531	0	0	0	0,0
Acenafitén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,17	129604	1242	253
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	82072	408	83
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,73	258346	9243	1886
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,01	227773	9491	1937
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,36	356982	14874	3036
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,73	233358	9723	1984
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,97	377768	6534	1333
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,54	266941	4617	942
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,05	282108	3169	647
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,98	59267	666	136
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,78	69041	5	1,1
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,74	10193	1	0,2
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,09	176640	14	2,8
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,13	600680	7	1,4
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,53	79572	3	0,5
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,38	368809	12	2,5
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	0	0	0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,07	47321	5	1,1
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,05	55815	2	0,3

Össz-PAH

Bemérés (g)

60015

12248

Minta térfogat (ml)

4,9

Darvas

1

Extrakció

Hexán-Aceton

Ebből:

Könnyű PAH

ng/g

Nehéz PAH

12238

Azonsított:

10

1887

25. táblázat. A darvasi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,53	4071	300	61
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	0	0	0	0,0
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,98	6146	347	71
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,18	45160	240	49
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,6	28215	78	16
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,75	54515	1084	220
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,85	46453	923	188
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,12	91241	2112	429
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,38	148562	3439	699
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,76	97539	2258	459
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,99	163982	3796	772
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,58	120313	1156	235
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,09	142238	888	180
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7,03	49547	309	63
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,84	12608	1	0,1
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,19	118483	5	1,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,26	454269	3	0,6
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,75	83568	2	0,3
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,52	247562	5	0,9
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43			0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42			0	0,0
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,26	63253	1	0,2

Össz-PAH

Bemérés (g)

16946

3444

Minta térfogat (ml)

4,92

Hunya

1,8

Extrakció

Hexán

Ebből:

ng/g

Könnyű PAH

3441

Nehéz PAH

3

Azonsított:

516

26. táblázat. A hunyai minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,56	5028	668	136
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,01	2744	26	5,3
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,21	36024	345	70
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19			0	0,0
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,62	20445	731	149
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,77	34991	1252	254
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,81	32549	1165	237
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,14	59422	2476	503
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,4	91597	3817	776
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,77	60066	2503	509
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,01	97345	1684	342
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,58	71270	1233	251
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,09	78192	878	179
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7,02	21618	243	49
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,77	60045	5	0,9
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,07	109397	8	1,7
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,11	353040	4	0,8
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,38	130106	4	0,9
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43			0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42			0	0,0
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,09	23418	1	0,1

Össz-PAH

Bemérés (g)

17042

3464

Minta térfogat (ml)

4,92

Hunya

1

Extrakció

Hexán-Aceton

Ebből:

ng/g

Könnyű PAH

3459

Nehéz PAH

4

Azonsított:

877

27. táblázat. A hunyai minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,56	745	99	20
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,97	2468	251	51
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,17	15956	153	31
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,6	42318	210	43
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,74	136684	4890	992
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,11	125840	5243	1064
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,37	244072	10170	2063
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,74	166001	6917	1403
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,99	296491	5128	1040
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,57	233691	4042	820
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,08	289342	3251	659
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7,02	127140	1428	290
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,85	44635	3	0,7
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,16	239558	18	3,7
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	0	0	0	0,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,25	914398	30	6,1
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,51	521910	17	3,5
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,66	28970	2	0,4
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,53	41629	5	1,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,33	4447	1	0,1
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,34	99329	3	0,6

Össz-PAH (ng/g)

41861

8491

Bemérés (g)

4,93

Minta térfogat (ml)

1

Gönyű

Extrakció

Hexán

Ebből:

Könnnyű PAH

ng/g

Nehéz PAH

8475

Azonsított:

16

1832

28. táblázat. A gönyűi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,57	25220	3349	681
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,87	25236	2565	521
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,16	42213	404	82
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	57764	287	58
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,73	145223	722	147
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,77	34991	1252	254
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,09	127417	5309	1079
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,36	229164	9549	1941
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,73	159709	6655	1353
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,97	283867	4909	998
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,55	103721	1794	365
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,69	123742	2140	435
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,04	270162	3035	617
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,76	39165	440	89
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,97	97185	1092	222
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,93	41184	3	0,6
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,57	74509	6	1,2
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,07	1417360	109	22
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,28	60581	1	0,1
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,11	4784623	157	32
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,89	390232	13	2,6
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,34	2728774	90	18
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,42	233626	18	3,6
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	15,67	109672	8	1,7
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,27	258186	29	6,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,13	67930	8	1,6
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	19,19	24666	3	0,6
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	20,04	804678	92	19
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	26,9	2936139	84	17

Össz-PAH (ng/g)

44121 8968

Bemérés (g)

4,92

Minta térfogat (ml)

1

Gönyű

Extrakció

Hexán-Aceton

Ebből:

ng/g

Könnyű PAH

8842

Nehéz PAH

126

Azonsított:

1540

29. táblázat. A gönyűi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,66	27759	3686	736
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,19	73754	707	141
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	19019	95	19
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,74	19586	701	140
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,88	24672	883	176
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,12	65789	2741	547
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,35	51682	2153	430
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,6	54952	2290	457
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,98	48950	847	169
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,73	34901	604	120
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,08	30341	341	68
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,54	46003	517	103
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,63	7337	1	0,1
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,65	13258	1	0,2
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	9,11	454860	5	1,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,17	1413368	46	9,3
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,99	5474	0	0,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,69	18424	1	0,1
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,43	807275	27	5,3
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,46	61260	5	0,9
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,38	28666	3	0,7
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,21	161280	5	0,9

Össz-PAH

Bemérés (g)

15656

3125

Mintatérfogat (ml)

5,01

Komló

1

Extrakció

Hexán

Ebből:

ng/g

Könnyű PAH

3106

Nehéz PAH

19

Azonsított:

140

30. táblázat. A komló mintáé hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531			0	0,0
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,17	58598	1011	202
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,37	27404	245	49
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	60663	543	108
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,74	22156	1427	285
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,11	203911	15293	3053
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,36	334696	25102	5010
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,74	226953	17021	3398
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,94	398220	29867	5961
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,56	306433	9540	1904
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,07	384705	7780	1553
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7	160990	3256	650
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,79	138551	19	3,8
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,83	13837	2	0,4
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,13	15985	2	0,4
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,04	7569	0	0,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,19	164187	10	1,9
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,6	237493	14	2,8
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,43	21473	1	0,3
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43			0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,09	49421	10	2,0
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	22,57	2043846	105	21

Össz-PAH

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Komló

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

111247	22205
	5,01
	1,8
	Hexán-Aceton
	ng/g
	22172
	33
	2212

31. táblázat. A komló mintáé hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,6	28017	3720	746
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,21	43621	418	84
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	0	0	0	0,0
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,61	10654	381	76
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,75	16997	608	122
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,86	14793	529	106
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,11	29447	1227	246
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,37	34420	1434	287
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,74	20141	839	168
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,97	30519	528	106
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,54	21864	378	76
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,03	12780	144	29
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,96	5000	56	11
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,95	68174	5	1,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,98	1755605	20	4,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,16	487610	16	3,2
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43			0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,31	32159	4	0,7
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	19,73	21790	2	0,5
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	0	0	0	0,0

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Nyíregyháza

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

10310

2066

4,99

1

Hexán

ng/g

2057

10

867

32. táblázat. A nyíregyházi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,46	2,41	2,51	5,455	2,34	144525	26494	5309
Acenaftilén	2,59	2,54	2,64	8,117	0	0	0	0,0
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,87	2,82	2,92	10,56083	2,81	115034	10893	2183
Fenantrén	3,17	3,12	3,22	120,79	3,17	368429	3050	611
Antracén	3,54	3,49	3,59	234,67	3,37	166115	708	142
Antracén	3,54	3,49	3,59	234,67	3,59	363132	1547	310
Fluorantén	3,91	3,86	3,96	34,635	3,73	1487620	42951	8607
Fluorantén	3,91	3,86	3,96	34,635	4,1	1336394	38585	7732
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,35	1979415	70668	14162
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,73	1281985	45769	9172
Pirén	4,46	4,41	4,51	28,01	4,96	2154358	76914	15414
Benz-(a)-antracén	5,97	5,92	6,02	62,69	5,54	1557120	24838	4978
Krizén	6,08	6,03	6,13	90,15	6,04	1863480	20671	4142
Krizén	6,08	6,03	6,13	90,15	6,96	1824005	20233	4055
Krizén	6,08	6,03	6,13	90,15	7,73	33061	367	73
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	8,73	158613	10	2,0
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	9,06	253350	16	3,2
Benz-(b)-fluorantén	9,12	9,02	9,22	15660,31	9,95	142309	9	1,8
Benz-(k)-fluorantén	11,14	11,04	11,24	98367,76	11,1	660758	7	1,3
Benz-(a)-pirén	13,35	13,25	13,45	35225,65	14,49	218193	6	1,2
Benz-(a)-pirén	13,35	13,25	13,45	35225,65	13,34	249055	7	1,4
Dibenz-(a,h)-antracén	17,2	17,1	17,3	15482,46	17,33	23367	2	0,3
Dibenz-(a,h)-antracén	17,2	17,1	17,3	15482,46	18,11	83588	5	1,1
Benz-(g,h,i)-perilén	19,9	19,8	20	10556,57	20,07	93330	9	1,8
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,79	22,69	22,89	371,51	0	0	0	0,0

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Nyíregyháza

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

383759

76906

4,99

1

Hexán-Aceton

ng/g

76891

14

5070

33. táblázat. A nyíregyházi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,57	22065	2930	582
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,94	8610	875	174
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	302	51844	497	99
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19			0	0,0
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,62	19527	699	139
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,77	28784	1030	205
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,89	34047	1218	242
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,13	58115	2421	481
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,4	61832	2576	512
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,76	67231	2801	557
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5	76330	1320	262
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,58	56134	971	193
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,09	46764	525	104
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,55	25109	282	56
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	7,02	16438	185	37
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,53	367507	28	5,6
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,96	12945	1	0,2
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,06	6142	0	0,1
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,09	417756	32	6,4
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,13	1394224	16	3,2
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,9	24708	1	0,2
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,37	816781	27	5,3
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,48	20283	2	0,3
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,35	50894	6	1,2
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	20,12	123310	14	2,8
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	0	0	0	0,0

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Paks

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

18457

3669

5,03

1

Hexán

ng/g

3644

25

980

34. táblázat. A paksi minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,5	0	0	0,0
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	2,97	28227	5165	1027
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,16	103491	1785	355
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,4	74720	669	133
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,59	175308	1568	312
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,73	696016	44824	8911
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,1	640977	48073	9557
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,35	1278400	95880	19062
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,73	889417	66706	13262
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,98	1667434	51909	10320
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,55	639646	19913	3959
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,69	719190	22389	4451
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,05	1562003	31588	6280
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,75	92765	1876	373
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,98	633340	12808	2546
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,07	0	0	0,0
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,76	102211	14	2,8
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,08	62861	9	1,7
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	9,95	184604	4	0,8
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,16	245417	15	2,9
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,51	571351	34	6,7
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,84	47922	6	1,3
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	16,05	9467	1	0,3
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,17	115798	24	4,7
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	22,57	6466494	331	66
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	26,91	310916	16	3,2

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Paks

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

405590

80634

5,03

1,8

Hexán-Aceton

ng/g

80547

90

9470

35. táblázat. A paksi minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	2,47	2526	499	100
Acenafilén	2,56	2,51	2,61	7,531	0	0	0	0,0
Acenafén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,11	55573	533	107
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,3	348434	1732	348
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	4,02	340422	12180	2451
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,28	553359	23057	4639
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,64	414719	17280	3477
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,87	739664	30819	6201
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,43	319339	5523	1111
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,59	314199	5434	1093
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,91	821720	14212	2859
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,08	402717	4524	910
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,36	12056335	926	186
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,51	93968	7	1,5
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,82	130898	10	2,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	9,98	182675	2	0,4
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	10,77	367165	4	0,8
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,14	375058	12	2,5
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	12,93	270646	9	1,8
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	14,29	58805	4	0,9
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	15,43	23645	2	0,4
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,38	165030	19	3,8
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	18,51	7623	1	0,2
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	19,33	2058636	235	47
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	25,7	369358	11	2,1

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Szabolcsbáka

Extrakció

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

117033

23548

4,97

1

Hexán

ng/g

23298

250

5943

36. táblázat. A szabolcsbákai minta hexános kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

PAH	tR	tR-0,0x	tR+0,0x	aSt	tR	Area	Konc ng/ml	ng/g
Naftalin	2,44	2,39	2,49	5,066	0	0	0	0,0
Acenaftilén	2,56	2,51	2,61	7,531	2,52	4637	616	124
Acenaftén és/vagy Fluorén	2,83	2,78	2,88	9,8375	0	0	0	0,0
Fenantrén	3,11	3,06	3,16	104,36	3,16	28297	271	55
Antracén	3,44	3,39	3,49	201,19	3,58	15215	76	15
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,72	24178	865	174
Fluorantén	3,77	3,72	3,82	27,95	3,84	27611	988	199
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,09	47962	1998	402
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,37	59843	2493	502
Pirén	4,29	4,24	4,34	24	4,72	38959	1623	327
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	4,95	61231	1059	213
Benz-(a)-antracén	5,61	5,56	5,66	57,82	5,53	46453	803	162
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,03	48165	541	109
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,76	4686	53	11
Krizén	6,33	6,28	6,38	89,01	6,96	10036	113	23
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	7,46	426335	33	6,6
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	8,57	5229	0	0,1
Benz-(b)-fluorantén	8,32	8,22	8,42	13021,52	9,04	261910	20	4,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58	11,05	1318460	15	3,0
Benz-(k)-fluorantén	10,05	9,95	10,15	87307,58			0	0,0
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	11,81	139010	5	0,9
Benz-(a)-pirén	12,13	12,03	12,23	30445,75	13,29	531633	17	3,5
Dibenz-(a,h)-antracén	15,41	15,31	15,51	13341,43	0	0	0	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	18,1	18	18,2	8771,42	17,23	11500	1	0,3
Indeno-(1,2,3-cd)-pirén	22,49	22,39	22,59	35151,64	20,02	68156	2	0,4

Össz-PAH (ng/g)

Bemérés (g)

Minta térfogat (ml)

Szabolcsbáka

Extrakció

11593

2333

4,97

1

Hexán-Aceton

Ebből:

Könnyű PAH

Nehéz PAH

Azonsított:

ng/g

2314

19

352

37. táblázat. A szabolcsbákai minta hexános-acetonos kinyeréshez tartozó kromatogramjának számítási táblázata

Az eredmények összesítéséhez a következő Excel makrót (programot) használtuk:

```
Sub osszesit2()
```

```
Dim pah(16)
```

```
sa = 1
```

```
sb = 2
```

```
sc = 3
```

```
k = 8
```

```
For st = 2 To 16
```

```
  pah(st) = Worksheets("st1").Cells(st, 1)
```

```
Next
```

Do

```
With Worksheets(sc)
    .Range("a1:b20") = ""
    .Range("a1") = Worksheets(sa).Range("a38")
    .Range("b1") = "ng/g"
    .Range("a2") = "Összes PAH"
    .Range("b2") = Worksheets(sa).Range("i35") + Worksheets(sb).Range("i35")
    .Range("a3") = "Ebből:"
    .Range("a4") = "Könnyű PAH"
    .Range("b4") = Worksheets(sa).Range("i42") + Worksheets(sb).Range("i42")
    .Range("a5") = "Nehéz PAH"
    .Range("b5") = Worksheets(sa).Range("i43") + Worksheets(sb).Range("i43")
    .Range("a6") = "Azonosított PAH"
    .Range("b6") = Worksheets(sa).Range("i44") + Worksheets(sb).Range("i44")
    .Range("a7") = "Ebből molekulánként:"
End With
```

For st = 2 To 16

szumpah = 0

For i = 3 To 34

```
With Worksheets(sa)
    paha = .Cells(i, 1)
    konca = .Cells(i, 9)
    felta = .Cells(i, 10)
    If (paha = pah(st)) And felta Then
        szumpah = szumpah + konca
    End If
End With
```

```
With Worksheets(sb)
    pahb = .Cells(i, 1)
    koncb = .Cells(i, 9)
    feltb = .Cells(i, 10)
    If (pahb = pah(st)) And feltb Then
        szumpah = szumpah + koncb
    End If
End With
```

Next

```
With Worksheets(sc)
If szumpah <> 0 Then
    .Cells(k, 1) = pah(st)
    .Cells(k, 2) = szumpah
    If szumpah < 10 Then
        .Cells(k, 2).NumberFormat = "0.0"
    Else
        .Cells(k, 2).NumberFormat = "0"
    End If
End With
```

```

k = k + 1
End If
End With

Next

k = 8
sa = sa + 3
sb = sb + 3
sc = sc + 3

Loop Until sc > 24
End Sub

```

A makró összeadta a hexános és a hexán acetonos kinyerés eredményeit (össz-PAH, könnyű PAH, Nehéz PAH, azonosított vegyületek, retenciós idő alapján azonosított vegyületek), majd az adatokat táblázatokba írta (38-45. táblázat).

Cegléd	ng/g
Össz-PAH	60924
Ebből:	
Könnyű PAH	60862
Nehéz PAH	62
Azonosított PAH	5976
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	27
Fenantrén	316
Pirén	1196
Benz-(a)-antracén	237
Krizén	4192
Benz-(k)-fluorantén	1,5
Benz-(a)-pirén	3,1

38. táblázat. A ceglédi minta összefoglaló eredmény táblázata

Darvas	ng/g
Össz-PAH	31857
Ebből:	
Könnyű PAH	31832
Nehéz PAH	25
Azonosított PAH	7865
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	987
Fluorantén	5060
Benz-(a)-antracén	1817
Benz-(k)-fluorantén	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	1,1

39. táblázat. A darvasi minta összefoglaló eredmény táblázata

Hunya	ng/g
Össz-PAH	6908
Ebből:	
Könnyű PAH	6900
Nehéz PAH	8
Azonosított PAH	1394
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	197
Fluorantén	711
Benz-(a)-antracén	485

40. táblázat. A hunyai minta összefoglaló eredmény táblázata

Gönyű	ng/g
Össz-PAH	17459
Ebből:	
Könnyű PAH	17317
Nehéz PAH	142
Azonosított PAH	3372
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	701
Acenaftén és/vagy Fl	521
Fenantrén	82
Fluorantén	1246
Benz-(a)-antracén	820
Benz-(g,h,i)-perilén	1,6

41. táblázat. A gönyői minta összefoglaló eredmény táblázata

Komló	ng/g
Össz-PAH	25330
Ebből:	
Könnyű PAH	25279
Nehéz PAH	51
Azonosított PAH	2352
Ebből vegyületenként:	
Fluorantén	425
Benz-(a)-antracén	1904
Benz-(k)-fluorantén	0,0
Benz-(g,h,i)-perilén	2,0
Indeno-(1,2,3-cd)-piré	21

42. táblázat. A komlói minta összefoglaló eredmény táblázata

Nyíregyháza	ng/g
Össz-PAH	78972
Ebből:	
Könnyű PAH	78948
Nehéz PAH	24
Azonosított PAH	5937
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	746
Fenantrén	611
Antracén	310
Fluorantén	122
Krizén	4142
Benz-(k)-fluorantén	1,3
Benz-(a)-pirén	1,4

43. táblázat. A nyíregyházi minta összefoglaló eredmény táblázata

Paks	ng/g
Össz-PAH	84304
Ebből:	
Könnyű PAH	84191
Nehéz PAH	115
Azonosított PAH	10451
Ebből vegyületenként:	
Acenaftilén	582
Fenantrén	355
Antracén	133
Fluorantén	9116
Benz-(a)-antracén	193
Benz-(k)-fluorantén	0,8
Benz-(g,h,i)-perilén	4,7
Indeno-(1,2,3-cd)-piré	66

44. táblázat. A paksi minta összefoglaló eredmény táblázata

Szabolcsbáka	ng/g
Össz-PAH	25881
Ebből:	
Könnyű PAH	25612
Nehéz PAH	269
Azonosított PAH	6296
Ebből vegyületenként:	
Naftalin	100
Acenaftilén	124
Fenantrén	162
Fluorantén	174
Pirén	4639
Benz-(a)-antracén	1093
Benz-(k)-fluorantén	0,4
Benz-(a)-pirén	2,5
Dibenz-(a,h)-antracén	0,4

45. táblázat. A szabolcsbákai minta összefoglaló eredmény táblázata

IRODALOMJEGYZÉK

KÖZVETLENÜL FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Az országos közutak 1997.évre vonatkozó keresztmetszeti forgalma: I. és II. kötet. Állami Közúti Műszaki és Információs KHT, Budapest 1998
2. Ciccioli P. – Cecinato A. – Brancaleoni E. – Frattoni M. – Zacchi P. – Miguel A.H. – de C.Vasconcellos P.: Formation and transport of 2-nitrofluoranthene and 2-nitropyrene of photochemical origin in the troposphere. *Journal of Geophysical Research* Vol.101. No.D14. 1996. 19567-19581. p
3. Chovanec A. – Vogel W.R. – Lorbeer G. – Hanus-Illnar A. – Seif P.: Chlorinated organic compounds, PAHs, and heavy metals in sediments and aquatic mosses of two upper Austrian rivers. *Chemosphere* Vol.29. No.9-11. 1994. 2117-2133. p
4. Fekete J. – Ratkai T. – Szepesi I. – Morovján Gy.: A policiklusos aromás szénhidrogének előfordulása, rákkeltő hatása, metabolizmusa és meghatározása környezeti mintákban. *Metalon*. Budapest, 1993.
5. Hale A.: Mosses and Liverworts in Wales. . *Hypnum cupressiforme* var. *cupressiforme* <http://www.clara.net>, Anglia, 1999.
6. Herzig R.: Multi-residue analysis with passive biomonitoring: a new approach for volatile multi-element contents, heavy metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) with lichens in Switzerland and the Principality of Lichtenstein
7. Kőmives J.: Környezeti analitika gyakorlat Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998. 73-90. p

8. Markert B., Weckert V.: Time-and-site integrated long-term biomonitoring of chemical elements by means of mosses. *Toxicological and Environmental Chemistry* Vol. 40. 1993. 43-56. p
9. Menichini E.: Urban air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: level and sources of variability. *The Science of the Total Environment* Vol.116. 1992. 109-135. p
10. Nagy Z. – Forlay-Frick P.: Kromatográfia labor dolgozat. BME Általános és Analitikai Kémia Tanszék, Budapest, 1998. 3-16. p
11. Pál R.: A szuperkritikus fluidkromatográfia alkalmazása petrokémiai elemzésekben. Szuperkritikus oldószerek analitikai és műveleti alkalmazása (konferencia), Budapest, 1999. május 20. 25. p
12. Provini, A., Permazzi, G., Galassi, S., Gaggio, C.F.: Distribution of nutrients, trace elements, PAHs, and radionuclides in sediment cores from Lake Varese (N. Italy). *Hydrobiologia* No. 176/177. 1989. 213-223. p
13. Ruhling A.: Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995 monitored by moss analyses. *International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution*, Lisboa, 1997. szeptember 21-24. 4.7. p
14. Rühling, Å., Tyler, G. *Botaniska Notiser* Vol.121. 1968. 321-342. p
15. Torun, B., Røyset O., Steiness E.: Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric environment* Vol.29. No.3., 1995. 353-360. p
16. Viskari E.-L. – Rekila R. – Roy S. – Lekto O. – Ruuskanen J. –Karenlampi L.: Airborne pollutants along a roadside: assesment using snow analyses and moss bags. *Environmental Pollution*, Vol.97. No.1-2. 1997. 153-160. 4-30. p
17. Wania, F., Mackay, D.: Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology* Vol. 30. No. 9., 1996. 390-396 p

KÖZVETETTEN FELHASZNÁLT IRODALOM ÉS AJÁNLOTT EGYÉB IRODALOM

18. Baek, S.O., Field, R.A., Goldstone, M.E., Krik, P.W., Lester, J.N., Perry, R.: A review of atmospheric polycyclic hydrocarbons: sources, fate and behavior. *Water, Air and Soil Pollution* Vol.60. 1991. 297-300. p
19. Radó S.: Magyarország Nemzeti Atlasza. Kartográfiai Vállalat, Budapest, 1967. 96. p
20. Shlatter., C.: Environmental pollution and human health. *The Science of Total Environment* Vol. 143. 1994. 93-101. p
21. Szepesváry P.: *Analitikai Kémia*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.
22. Wania F. – Mackay D.: Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology* Vol.30. No.9. 1996. 390-396. p
23. Wolterbeek H. TH. – Kuik P. – Verburg T.G. – Herpin U. – Markert B. – Thöni L.: Moss interspecies comparisons in trace element concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment* Vol.35. 1995. 263-286. p
24. Bargagli R.: The elemental composition of vegetation and the possible incidence of soil contamination samples. *The Science of the Total Environment* Vol.176. 1995. 121-128. p
25. Boström C.-E. – Almén J. – Steen B. – Westerholm R.: Human Exposure to Urban Air Pollution. *Environmental Health Perspectives* Vol.142. Supp.4. 1994. 39-47. p
26. Calvet R.: Modelling pesticide leaching in soils; main aspects and main difficulties. *Eur. J. Agron.* Vol.4. No.4. 1995. 473-484. p
27. Jaffrezo, J.L., Clain, M.P., Masclet, P.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in the polar ice of Greenland. Geochemical use of these as atmospheric tracers. *Atmospheric Environment* Vol.28. 1994. 1139-1145, p
28. McVeety, B.D., Hites, R.A.: Atmospheric deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons to water surfaces: a mass balance approach. *Atmospheric Environment* vol. 22. 1988. 511-536. p
29. Roy, S., Sen, C.K., Hanninen, O.: Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons using moss bags: bioaccumulation and responses of antioxidant enzymes in *Fennalia antipyratica*. *Chemosphere* Vol.32. 1996. 2035-2315. p

30. Thomas, W.: Representativity of mosses as biomonitoring organisms for the accumulation of environmental chemicals in plants and soils. *Exotoxicology and Environmental S.* Vol.11. 1986. 339-346. p
31. Wegener, J. W.M., van Schaik, M.J.M., Aiking: Active biomonitoring of polycyclic hydrocarbons by means of mosses. *Environmental pollution.* 1992. 15-18. p