



**Országos Tudományos Diákköri
Konferencia
2013**



**Néhány szénhidrogén koncentráció-eloszlásának tanulmányozása
Veszprém város levegőjében**

Készítette: Schöffner Mónika

Környezetmérnöki MSc.

I.évfolyam

Témavezető: dr. Kovács József, egyetemi adjunktus

Mérnöki kar, Környezetmérnöki Intézet

Pannon Egyetem

2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Irodalmi összefoglaló	2
2.1. A légszennyezés	2
2.2. Az illékony szerves szennyezők.....	4
2.3. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó jogszabályi környezet	5
2.3.1. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó nemzetközi egyezmények	5
2.3.2. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó európai uniós rendeletek	7
2.3.3. Az illékony szerves szennyezők légköri kibocsátásának hazai szabályozása.....	7
2.4. Az illékony szerves szennyezők forrásai.....	10
2.4.1. Természetes források	10
2.4.2. Antropogén források	11
2.4.3. A közlekedésből származó BTEX vegyületek.....	12
2.5. Az illékony szerves szennyezők az atmoszférában	12
2.5.1. A levegőben lejátszódó fotokémiai folyamatok	12
2.5.2. Illékony szerves vegyületek és az ózon közötti kapcsolat.....	14
2.5.3. Szabad gyökök keletkezése a levegőben	14
2.5.3.1. Hidroxil- és nitrátgyökök	15
2.5.3.2. Hidrogén-peroxil- és alkil-peroxil-gyökök	16
2.5.3.3. Halogéntartalmú gyökök.....	17
2.5.4. A fotokémiai füstköd	18
2.5.4.1. A füstködben lejátszódó reakciók	19
2.6. Az illékony szerves szennyezők egészségügyi hatásai	21
3. Gyakorlati rész	24
3.1. Illékony szerves szennyezők mérés technikája	24
3.1.1. BTEX vegyületekre vonatkozó mérési szabványok	25
3.2. A mintavétel menete.....	25
3.3. A mintavételi helyek	27

3.4. A leoldás menete	32
3.5. Mérőrendszer felépítése	33
3.6. A mért eredmények és következtetések	36
4. Összefoglalás.....	46
Irodalomjegyzék.....	48
I. melléklet – US EPA által VOC-k közé nem sorolandó vegyületek.....	51
II. melléklet- Mintavételi helyszínek.....	53
III. melléklet- A gázkromatográfiás mérés során kapott kromatogramok	56
IV. melléklet – A ppm átszámítása $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re	57
V. melléklet- A mért eredmények	60
VI. melléklet- A tényleges mérési idők és a mintavétel során használt szivattyú sorszáma minden minta esetében	65
VII. melléklet- Az adszorbens morfológiai vizsgálata	70
Nitrogén adszorpció vizsgálat	70
Higanypenetrációs vizsgálat	71
Az adszorbens morfológiai vizsgálatának eredményei.....	73

1. Bevezetés

Az emberi tevékenység következtében egyre nő a légszennyezettség mértéke. A légszennyező anyagok hatással vannak a környezetre, illetve az emberi egészségre is, ezért nagyon fontos tudni, hogy a környezetünkben mekkora az egyes szennyezők koncentrációja. A dolgozatomban az illékony szerves szennyezőkre koncentráltam, ezek közül is főként a közlekedésből származó benzolra, toluolra, etil-benzolra, xilolokra (BTEX vegyületekre). A fent említett vegyületek koncentrációjának eloszlását vizsgáltam Veszprém város levegőjében.

Dolgozatomban a fotokémiai füstköd kialakulásért felelős és az emberi egészségre fokozottan veszélyes illékony szerves szennyezők forrásait, környezeti hatásait, egészségügyi hatásait, rájuk vonatkozó egyezményeket, jogszabályokat foglaltam össze. A gyakorlati feladatomban során, a város több pontján Anasorb CSC adszorbens csövek segítségével levegő mintát vettem, majd a laboratóriumban a megfelelő előkészítést és leoldást követően, gázkromatográfia segítségével meghatároztam, hogy a vizsgált szennyező anyagoknak mekkora volt a koncentrációja, a mérési ponton a mérési időtartam alatt. A gyakorlati munka során többször kérdésessé vált, hogy mekkora a használt aktív szén fajlagos felülete, ezért morfológiai vizsgálatot végeztem egy adszorbens csőből származó új, illetve egy már használt aktív szénen. A vizsgálatot ASAP 2000 nevű berendezéssel, illetve higanypenetrációs módszerrel végeztem el.

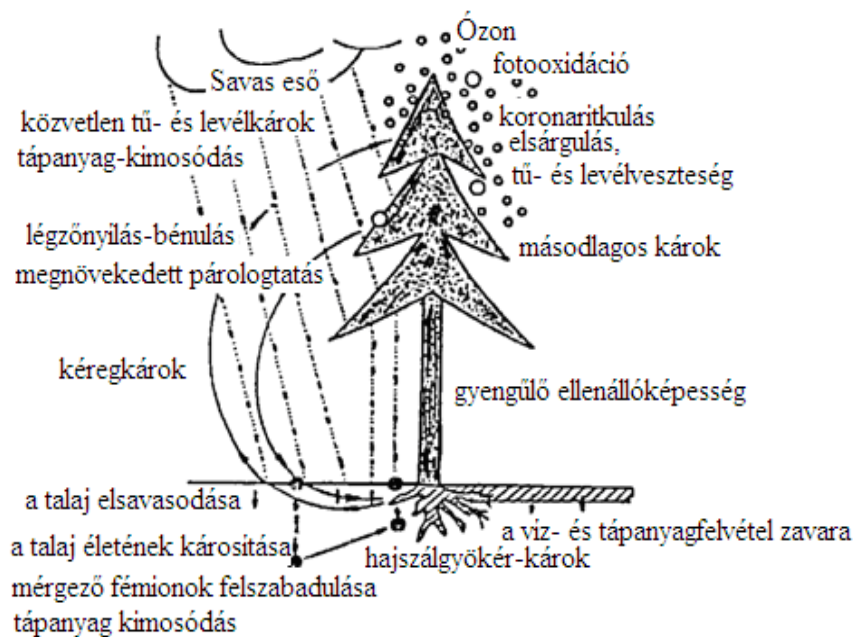
A dolgozatom gyakorlati részében bemutatom Veszprém város levegőjében a BTEX szén-hidrogének koncentrációjának alakulását.

2. Irodalmi összefoglaló

Az irodalmi összefoglalóban összefoglaltam a légszennyezést okozó fő komponenseket, azon belül részletesen írtam az illékony szerves szennyezőkről. Ismertetem még az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó jogszabályi környezetet, az őket kibocsátó forrásokat és az általuk kiváltott környezeti jelenségeket.

2.1. A légszennyezés

Az emberi élet fontos feltétele a levegő tisztasága. Első lényeges definíció, hogy mit is értünk tiszta levegő alatt. Tiszta levegőről akkor beszélünk, ha a különböző légszennyező anyagok koncentrációja nem haladja meg a kísérleti úton meghatározott, illetve a vonatkozó jogszabály által előírt egészségügyi határértéket. Légszennyező anyagnak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek a levegő természetes minőségét károsan befolyásolják. A légszennyező anyagok különböző forrásokból kerülhetnek a környezetbe, származhatnak mesterséges forrásokból, ide tartozik a közlekedés, az ipari tevékenység, a lakossági fűtés és ezek mellett még természetes forrásokból is. Az emisszió mellett nagyon fontos foglalkozni még a transzmisszióval és az immisszióval is, mivel a légszennyező anyagok közvetlenül veszélyeztetik az emberi egészséget, káros hatással vannak a vegetációra, romboló hatást fejtenek ki az épített környezetre. Az ózonkárosító szennyezők kibocsátásával védtelenné tesszük a földünket a kozmikus sugárzással szemben.[1]



1.ábra A légszennyezés hatása a környezetre[2]

	Források	Példa	Légszennyező anyag
Természetes források	Geológiai folyamat	Vulkánkitörés	Kén-dioxid (SO ₂), szilárd részecskék
	Égési folyamat	Erdőtűz	Szénhidrogének (C _x H _y), szén-monoxid (CO), szén-dioxid (CO ₂) nitrogén-oxidok (NO, NO ₂), szilárd részecskék
	Mikrobiológiai aktivitás	Elhalt szerves anyagok biológiai bomlása, emberi gázcsere folyamatok	Szén-monoxid, metán (CH ₄), ammónia (NH ₃), dinitrogén-oxid (N ₂ O), hidrogén-szulfid (H ₂ S)
	Meteorológiai folyamatok	Napsugárzás, villámlás	Nitrogén-oxid, ózon (O ₃)
Mesterséges források	Tűzelés	Kőszén, barnaszén égetés	Kén-dioxid, Nitrogén-oxidok, ammónia
	Közlekedés	Személygépkocsi, busz, teher gépkocsi forgalom	Nitrogén-oxidok, ammónia, szénhidrogének

	Mezőgazdaság	Állat- és növénytermesztés, műtrágyázás, biomassza égetés	Ammónia, metán, nitrogén- oxidok, szénhidrogének
	Ipari tevékenység	Kohászat, olajfinomítás	Szén-dioxid, szén-monoxid, nitrogén-oxidok, szénhidrogének

1. táblázat Levegőszennyező gáz komponensek [1,3]

A továbbiakban a nem – metán illékony szerves szennyezőkre koncentráltam.

2.2. Az illékony szerves szennyezők

Az illékony szerves vegyületek gyűjtőfogalma alatt a levegőben található káros szennyező szénhidrogén származékokat értjük, a metán kivételével.

Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala szerint közéjük tartozik minden olyan vegyület, amely szén-tartalmat tartalmaz és részt vesz a fotokémiai reakciókban, kivéve a szén-monoxid, szén-dioxid, szénsav, fém-karbidok, vagy karbonátok, az ammónium-karbonát, illetve nem tartoznak közéjük azon vegyületek, amelyek elhanyagolható fotokémiai reaktivitással rendelkeznek, a függelék I. mellékletében közlöm ezeket a vegyületeket [4].

Az illékony szerves vegyület, VOC (Volatile Organize Compounds) fogalmát a 21/2005. (VIII. 26.) KvVM rendelet [5] definiálja:

„Bármely olyan szerves vegyület, amelynek gőznyomása 293,15 K-on 0,01 kPa vagy annál nagyobb érték, vagy ennek megfelelő illékonyságú a felhasználás körülményei között. A kátránypárlatok (kreozot frakció) is illékony szerves vegyületnek tekintendők, ha gőznyomásuk 293,15 K-on 0,01 kPa vagy annál nagyobb érték.”

Az Európai Parlament és a Tanács 2004/42/EK irányelve (2004. április 21.) szerint az illékony szerves szennyezők definíciója:

„Bármely szerves vegyület, amelynél legfeljebb 250°C a kezdő forráspont 101,3 kPa atmoszférikus nyomáson mérve” [6].

2.3. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó jogszabályi környezet

A fenntartható fejlődés biztosítása és a környezet védelmének szempontjából nagyon fontos a különböző szennyező anyagokra, tevékenységekre vonatkozó jogi szabályozás. Megkülönböztethetünk hazai, európai uniós, illetve nemzetközi előírásokat. A lokális problémákat megoldó szabályozást egy adott országon belül kell megoldani, míg a regionális, kontinentális, illetve globális problémákat nemzetközi egyezményeken keresztül kell kezelni. A szabályozáshoz megfelelő háttérismeret szükséges, ez azt jelenti, hogy azoknak az embereknek, akik részt vesznek a törvényhozásban, ismerniük kell, hogy egyes környezeti hatások milyen szennyezettségi szintnél alakulnak ki, illetve ahhoz a szennyezettségi szint eléréséhez mekkora kibocsátás szükséges, tehát minden ilyen típusú szabályozást környezettudományi kutatásokkal kell alátámasztani.

Heicklen laboratóriumi kísérletek eredményei alapján kimutatta [7], hogy a VOC-vegyületek a napsugárzás hatására reakcióba lépnek a nitrogén-oxidokkal és így hozzájárulnak a fotokémiai füstköd kialakulásához. Nyilvánvalóvá vált, hogy egyre fontosabb az illékony szerves szennyezők környezetterhelő hatásának csökkentése, mivel a szennyező anyagok a légköri mozgásokkal nagy távolságokra juthatnak el, így világossá vált, hogy ezt a problémát nemzetközi összefogással kell orvosolni.

2.3.1. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó nemzetközi egyezmények

1985-ben létrehozott Bécsi Konvencióban, megállapodás született az ózonbontó vegyületek kibocsátásának csökkentésében való összefogásra, majd 1987-ben megalkották a Montreali Jegyzőkönyvet, amely 1989. január 1-én lépett életbe. A Jegyzőkönyv intézkedései két fő vegyülettípusra irányulnak, ezek gyártását és felhasználását ellenőrzi. Egyik típus a halonok, másik típus a klór-fluor-szénhidrogének. A Montreáli Jegyzőkönyv figyelembe veszi, az egyes vegyületek ózonbontó képességét is és ez alapján szabályoz. 1990-ben született meg a Londoni Jegyzőkönyv, amely módosította az addigi előírásokat.

A freonok, halonok, szén-tetraklorid (CCl_4) előállítását és felhasználását 100%-kal kellett csökkenteni 2000-re. A metil-klorid (CH_3Cl) esetében a nullára csökkentés idejét 2005-re határozták meg, illetve a freonok más vegyületekkel való helyettesítését javasolták. Ilyen helyettesítő vegyületek pl. a hidro-klór-fluor-szénhidrogének (HCFC), illetve a hidro-fluor-szénhidrogének (HFC), ezek kevésbé stabilak, mint a freonok, nagy részük már a troposzférában elbomlik, viszont ezeket a vegyületeket is legkésőbb 2040-ig ki kell vonni a forgalomból. 1992-ben Koppenhágában módosították a Londoni Jegyzőkönyvet, az új feltétel az volt, hogy 1996. január 1-ig kell megszüntetni a freonok, szén-tetraklorid és a metil-kloroform gyártását és használatát.

1991-ben került aláírásra a Genfi Jegyzőkönyv, amely elsőként szabályozta az emberi egészségre, illetve a környezetre káros illékony szerves szennyezőket. Előírta, hogy a csatlakozó országoknak 1999-ig az e típusú vegyületek felhasználásában és kibocsátásában 30 %-os csökkentést kell elérniük a 1988-as szinthez képest.

1998-ban adták ki az Aarhusi Jegyzőkönyvet, amely a környezetben hosszú ideig megmaradó szerves szennyezőanyagok (POP: persistent organic pollutants) légköri kibocsátására vonatkozik. A POP-ok, olyan szerves anyagok, amelyek a természetben évtizedek múltán is kimutathatóak. Ennek oka az, hogy ellenállnak a különböző típusú bomlási folyamatoknak; felezési idejük két napnál több a levegőben, két hónapot is meghaladhatja a vizekben és akár fél évnél is nagyobb lehet a talajban. Egészségügyi hatásaik közül fontos megemlíteni, hogy lehet köztük zsírban jól oldódó vegyület is, amelynek következménye lehet a zsírszövetben való akkumuláció, illetve egyes vegyületek rákkeltőek is lehetnek. Három fő csoport a hangsúlyos: növényvédőszer (DDT: dichloro-diphenyl-trichloroethane, heptaklór), ipari vegyi anyagok (poliklórozott-bifenilek (PCB), melléktermékek (PAH: polycyclic aromatic hydrocarbons, dioxin). Az Aarhusi Jegyzőkönyv csökkentést ír elő az 1990-es évhez képest. [1, 8]

2.3.2. Az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó európai uniós rendeletek

Az 1005/2009/EK. rendelet (2009. szeptember 16.) az ózonréteget lebontó anyagokról rendelkezik. [9]

A 2004/42/EK rendelet (2009. április 21.) a szerves oldószerek egyes festékekben, lakkokban és a jármű utófényezésére szolgáló termékekben történő felhasználása során keletkező illékony szerves vegyületek kibocsátásának korlátozásáról rendelkezik. Ezek a vegyületek hozzájárulnak a fotokémiai reakciókhoz, ezért fontos, hogy csökkentsék a kibocsátás mértékét. A jogszabály meghatározza a különböző alkalmazási köröket, illetve a felső határértékeket, mérési módszereket. [10]

Az illékony szerves szennyezők legfőbb kibocsátó forrása a közlekedés, ezért fontos mérni a kipufogó gázokból származó füstgázok összetételét, ugyanis az azokból származó szénhidrogének is fontos szerepet játszanak a fotokémiai füstköd kialakulásában. Az illékony szerves szennyezőket tekintve különbséget kell tenni dízel- illetve benzin üzemű motor kibocsátása között, amelyekre külön-külön 6 emissziós normát határoztak meg. A 715/2007/EK rendelet (2007. június 20.) a könnyű személygépjárművek és haszongépjárművek (Euro 5 és Euro 6) kibocsátás tekintetében történő típusjóváhagyásról és a karbantartási információk elérhetőségéről rendelkezik. [11]

2.3.3. Az illékony szerves szennyezők légköri kibocsátásának hazai szabályozása

A levegő védelméről szóló egyes szabályokról 2011. január 15-ig a 21/2001. (II.14) Kormányrendelet rendelkezett. Most a 306/2010. (XII.23.) Kormányrendelet rendelkezik. Ez a rendelet szabályozza a füstköd- riadó terv készítésének a menetét, tartalmi követelményeit, illetve hatáskört biztosít az önkormányzatoknak ilyen típusú tervek készítéséhez. Rendelkezik még a különböző típusú forrásokra vonatkozó szabályokról is. [12]

A fenti jogszabály alapján a Veszprém Megyei Jogú Város Önkormányzata Közgyűlésének 18/2011. (IV.29.) önkormányzati rendelete a füstköd-riadó tervről rendelkezik [13]. A rendelet betartásáért a helyi polgármester felelős, ő rendelheti el és szüntetheti meg a füstköd riadót.

A különböző légszennyezettségi határértékekről 2011. január 15-ig a 14/2001. (V.9.) KöM-EüM-FVM együttes rendelete rendelkezett, ma a 4/2011. (I.14.) VM rendelet határozza meg a különböző légszennyező anyagok egészségügyi határértékét. Tartalmazza a tájékoztatási és riasztási küszöbértékeket, a légszennyezők veszélyességét, a különböző technológiákra előírt emissziós határértékeket, illetve fotokémiai füstköd kialakulása szempontjából fontos vegyületek egészségügyi határértékeit [14], az utóbbi vegyületekre vonatkozó határértékeket a 2. táblázat szemlélteti.

Légszennyezőanyag neve	Határérték ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	órás	24 órás	éves
Kén-dioxid	250	125	50
Nitrogén-dioxid	100	85	40
Nitrogén-oxidok	200	150	100
Ózon	-	120	-
Szén-monoxid	10 000	5 000	3 000
Szálló por (PM_{10})	-	50	40
Összes por (TSPM)	-	100	50
Benzol	-	10	5
3,4-benz(a)pirén	-	0,001	0,00012
1,3-butadién	-	-	2,25
Tetraklór-etilén	-	250	60
Triklór-etilén	-	50	20
vinil-klorid	-	50	5

2. táblázat A fotokémiai füstköd kialakulása szempontjából fontos vegyületek egészségügyi határértékei [14]

A légszennyezettség és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével és értékelésével kapcsolatos rendelkezésekről 2011. január 15-ig a 17/2001. (VIII.3.) KöM rendelet rendelkezett, azóta a 6/2011.(I.14.) VM rendelet a hatályos. A rendelet szabályozza a vizsgálati módszert, az értékelési módszert, a dokumentáció menetét, meghatározza a mintavételi pontok számát. A rendelet 4. melléklete meghatározza az ózonkoncentrációk vizsgálatára szolgáló mintavételi pontok elhelyezésének kritériumait. Veszprém város esetén (OLM: Országos Levegőszennyezettségi Mérőhálózat) városi mérőállomásról beszélünk, amelynek elhelyezési kritériumai a következők: benzinkúttól távol, jó szellőzési helyen, alacsony gépjárműforgalmi helyen legyen. A rendelet szerint az ózon előanyagait is mérni kell, ennek a mérésnek ki kell terjednie a nitrogén-oxidokra, illetve az illékony szerves szennyezőkre is. A fotokémiai ózonképződés szempontjából fontos illékony szerves szennyező vegyületeket a 6/2011.(I.14.) VM rendelet határozza meg, ezeket a vegyületeket a 3. táblázatban soroltam fel. [15]

	1-butén	izoprén	etil-benzol
etán	transz-2-butén	n-hexán	m + p-xilol
etilén	cisz-2-butén	i-hexán	o-xilol
acetilén	1,3-butadién	n-heptán	1,2,4-trimetil-benzol
propán	n-pentán	n-oktán	1,2,3-trimetil-benzol
propén	i-pentán	i-oktán	1,3,5-trimetil-benzol
n-bután	1-pentén	benzol	formaldehid
i-bután	2-pentén	toluol	NMHC

3. táblázat A fotokémiai ózonképződés szempontjából fontos VOC vegyületek [15]

2.4. Az illékony szerves szennyezők forrásai

Az illékony szerves szennyezők esetében is megkülönböztethetünk természetes és antropogén forrásokat. Az illékony szerves szennyezők főleg természetes forrásokból jutnak a légkörbe, a növények a Föld kémiai aktív VOC kibocsátásának 80%-át adják [16], bár a közlekedés, ipari tevékenység rohamos növekedésével, a légkörbe jutó illékony szerves szennyezők mennyisége nagymértékben növekedett, a globális skálán nézve, még mindig a természetes forrásokból származó kibocsátás a nagyobb.

2.4.1. Természetes források

A természetes források közé tartoznak a penészgombák, amelyeknek a spórái nagy mennyiségben kerülnek a légtérbe. Egyes gombák (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium rubrum*, *Fusarium*- félék) spórái mérgező anyagokat, úgy nevezett mikotoxinokat is tartalmaznak.[17]

Dong Sik Yang, Ki-Cheol Son, Stanley J. Kays és munkatársaik [18] megállapították, hogy egyes szobanövények és a talaj, amiben élnek, nem csak kivonnak illékony szerves anyagokat a környezetből, hanem bocsátanak is ki. A 4 vizsgált növény: vitorlavirág (*Spathiphyllum wallisii*), a Sansevieria, a fikusz (*Ficus benjamina*) és az aranygyümölcspálma (*Chrysalidocarpus lutescens*).

A földben élő mikroorganizmusokból is származtatható bizonyos illékony szerves szennyező, emellett még kimutatásra került, hogy maga a műanyag virágcserep is bocsát ki illékony szerves szennyezőket.

A különböző növények kibocsátása nagyon faj specifikus. Vannak növények, mint a tölgyfa, juhar, amelyek nagy terhelést adnak, míg a füvek, (etént, propánt, számos alként) csak nyomnyi mennyiségben bocsátanak ki illékony szerves szennyezőket [19]. A fás szárú növények által kibocsátott vegyületek főként izoprének, illetve monoterpének. (Az izoprén 5 szénatomos, két kettős kötést és nyolc hidrogént tartalmazó szénhidrogén. Két izoprén egységből állnak a monoterpének.) A fenyőfa tűlevele, a narancs, a citrom monoterpéneket, míg az izoprént a lombos fák bocsátanak ki. Általában meleg napokon, az első napsugarak hatására bocsátják ki a növények ezeket a vegyületeket, viszont ha

sokk hatása alá kerülnek, pl. nagy hőség, aszály esetén, akkor nagymértékben növekszik a kibocsátásuk.[20]

A talajok a szénhidrogének közül főként etént bocsátanak ki, azt is kis mennyiségben. Az óceánokból könnyű alkán, alkén kibocsátás származtatható.[7]

A légkörbe jutó terpének kölcsönhatásba lépnek egyes légkörben található más anyagokkal, mint például a OH-gyök vagy az O₃. A reakciók végtermékei olyan vegyületek, amelyek kondenzálódni tudnak, így ezek a részecskék, aeroszolok a levegőben lebegnek. Ezt az aeroszol képződést néha láthatjuk is, mikor kékes színű párákat látunk az erdők felett, akkor épp a fenti folyamat játszódik le. [20]

2.4.2. Antropogén források

Az antropogén források esetén megkülönböztetünk városi illetve ipari forrásokat.

A városi források közé tartozik, a városi fűtés és az abból származó elégetlen szénhidrogének. A kibocsátás mértéke függ a fűtőanyag típusától is, nem elhanyagolható, hogy szénrel, földgázzal vagy fával esetleg biogázzal, biomasszával fűtenek a lakosok. Az antropogén források közül a könnyű szénhidrogének fő szennyező forrása a közlekedés. Jellemző vegyületek az acetilén, etén, etán, propán, propén, i-bután, n-bután, i-pentán, n-hexán, benzol, toluol, etil-benzol, m/p-xilol, o-xilol.[7]

Kibocsátó forrásként tartják számon az oldószerhasználat következtében elpárolgó oldószergőzőket, amelyek n-nonán, n-dekán, toluol és etil-benzol kibocsátást okoznak. A földgázszivárgás, bányászat etén és propán emissziót okoz.

A gépjárművek üzemanyagtartályának utántöltése során a benzinpárolgás következtében levegőbe jutó szénhidrogének mennyisége is jelentős lehet. [7]

Az ipari forrásokra vonatkozóan a szakirodalom kevés információt közöl, ugyanis a világon eltérő ipari eljárásokat alkalmaznak, más nyersanyagokat használnak fel, így van, hogy azonos technológia is két különböző országban, eltérő levegőszennyezést eredményez. Az ipari források közül fontos megemlíteni a kohászat, olajfinomítás, kenőanyag gyártás, -tárolás, felületkezelés során kibocsátott illékony szerves szennyezőket.[21]

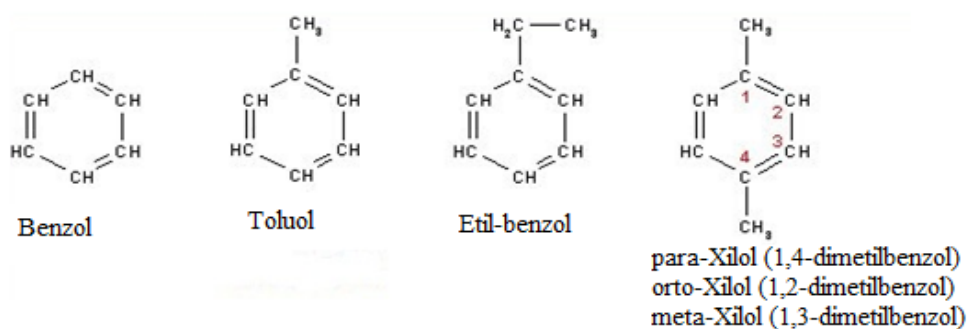
A biomassa égetés során légkörbe kerülő szennyezők mennyisége globális léptékben jelentős. Greenberg [7] vizsgálatai szerint, a fenti folyamat során

nagyobb mennyiségben keletkezik etán, propán, etén, propén, alkinok és kisebb mennyiségben benzol, toluol.

A mindennapokban is találkozunk VOC-forrásokkal, ilyenek például a parfümök, különböző illatosító szerek, tisztítószer, ragasztók, festékek, tapéták, permetszerek, bútorok, szerves oldószer tartalmú anyagok, tűzoltó készülékek, rovarmentesítő szerek, gyümölcstárolók. [22]

2.4.3. A közlekedésből származó BTEX vegyületek

A dolgozatomban bemutatott mérési munka során, főként a közlekedésből származó illékony szerves szennyezők közé tartozó úgy nevezett BTEX vegyületekkel foglalkoztam. Ezen jelentős csoport elemei: benzol, toluol, etil-benzol, meta-, para-, orto-xilol, ezek kémiai szerkezetét a 2. ábra tartalmazza.



2. ábra BTEX vegyületek kémiai szerkezete [23]

2.5. Az illékony szerves szennyezők az atmoszférában

Az előző fejezetben részletesen beszéltünk az illékony szerves szennyezőket kibocsátó forrásokról, most ismerjük meg milyen reakciókban, átalakulásokban vesznek részt, illetve milyen környezeti hatásokat okoznak.

2.5.1. A levegőben lejátszódó fotokémiai folyamatok

Elsőként fontos megismernünk, hogy milyen folyamatok játszódnak le a légkörünkben. A jellemző folyamatok a fotokémiai folyamatok, amelyek olyan reakciók, ahol az átalakuláshoz szükséges energiát látható vagy ultraibolya tartományba eső sugárzó energia formájában közöljük a rendszerrel. A napsugárzás energiája a légkörben lévő molekulákat gerjeszti, ionizálja, szabad gyökökre (gyök: kémiai kötés felszakadásával keletkező párosítatlan elektronokat

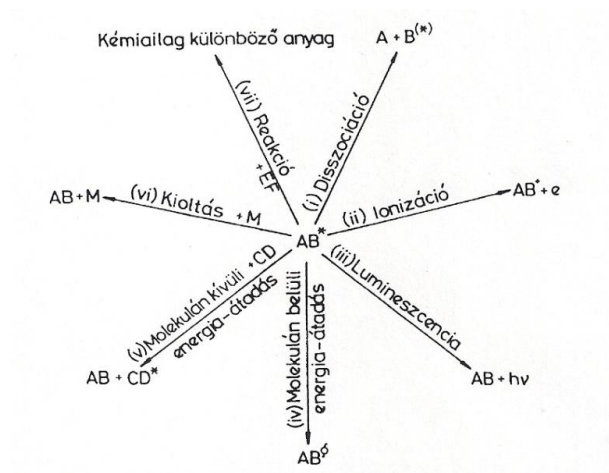
tartalmazó atom vagy atomcsoport) disszociálja, így biztosítva a reakciók lejátszódásához szükséges aktiválási energiát. [7, 24]

Foton abszorpció következtében a molekulák alapállapotból gerjesztett állapotba kerülnek, az abszorpciós folyamat során az anyagi természetükben nincs változás, gerjesztett állapotból alapállapotba térnek vissza. A deaktiválódási folyamat történhet sugárzás nélkül és sugárzással. A sugárzás nélküli folyamat, mindig rezgési átmenetekkel csatolt, a sugárzással történő deaktiválódás, lumineszcencia, történhet szingulett állapotból (fluoreszcencia) és triplett állapotból (foszforeszcencia) egyaránt. [7, 24]

A fotokémiai reakciók során szerkezetváltozás következik be, a kezdeti és a végállapot egymástól eltér. A fotokémiailag aktív sugárzás (jelölése: $h\nu$) elnyelése a molekulákban (AB) elektronátmenetet okoz, amely energianövekedéssel jár:



A gerjesztett molekulák lehetséges átalakulási módjai: molekula szétesés, molekula elektromos semlegességének megszüntetése, felvett energia leadása sugárzás formájában, energia molekulán belüli átrendeződése, átadása más molekuláknak, illetve a gerjesztett állapot kémiai reakcióhoz biztosít energiát. Ezeket a folyamatokat szemlélteti a 3. ábra. [7, 24]



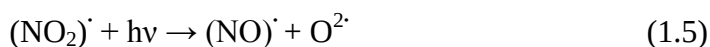
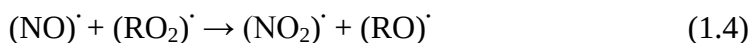
3. ábra A gerjesztett molekulák lehetséges átalakulási módjai [7]

2.5.2. Illékony szerves vegyületek és az ózon közötti kapcsolat

Az ózon három oxigénatomból álló instabil molekula, amely a kétatomos oxigén molekulákból keletkezik. Az M egy harmadik anyag, általában nitrogén. Ez a képződési folyamat (1.3) játszódik le a sztratoszférában és a mezoszférában is.



Az ózon rétegnek fontos szerepe van a bioszféra védelmében, ugyanis ez a réteg szűri meg a káros UV-sugarakat, valamint hatással van a levegő oxidációs képességére. A troposzférában lévő ózon másodlagos légszennyezőanyag, amit bonyolult körfolyamat hoz létre, általában meghatározott meteorológiai helyzet és nagy gépkocsiforgalom esetén keletkezhet. Az ózonképződéshez nitrogén-monoxidra és szerves anyag kibocsátásra van szükség. A szennyezett levegőben a szerves kiindulási vegyületek erősen reakcióképes alkének, ciklikus szénhidrogének. Ha a feltételek megvannak, akkor maga az ózonképződés három lépésben játszódik le. Az első lépésben a nitrogén-monoxid az alkil-peroxygyökök $((RO_2)^{\cdot})$ hatására oxidálódik (1.4), utána a keletkezett nitrogén-dioxid fotolízist szenved (1.5), majd a keletkezett atomos oxigén egyesül a levegő oxigénjével (1.6). [7]



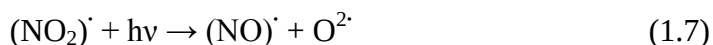
Az R tetszőleges szerves gyököt jelöl, amelyek szerves vegyületek bomlásakor is kialakulhatnak.

2.5.3. Szabad gyökök keletkezése a levegőben

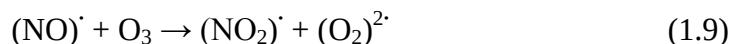
A levegőben lezajló oxidációs folyamatokhoz elengedhetetlenek az oxigén tartalmú szabad gyökök. Ezek kifelé elektromosan semlegesek, külső elektronpályájukon az elektronok száma páratlan, így nagyon reakcióképesek.[7]

2.5.3.1. Hidroxil- és nitrátgyökök

A hidroxil- és a nitrát-gyökök a szakirodalom eddigi publikációi alapján a troposzférában a nitrogén-dioxid, ózon, formaldehid bomlásából származnak. A nitrogén-dioxid bomlása során (1.7) keletkező atomos oxigén előfeltétele az ózonképződésnek (1.8).



Másik oldalról a $(\text{NO})^{\cdot}$ fogyasztja is az ózont (1.9).



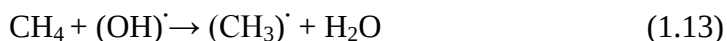
Egyensúly esetén a nitrogén-dioxid fogyása és keletkezése egyenlő. Ózon nagy mennyiségben akkor képződik, ha a $(\text{NO})^{\cdot}$ gyorsan NO_2 -vé oxidálódik. Az ózon fotokémia bomlása (1.10) során keletkező oxigén atomok bizonyos része gerjesztett állapotban van.



Az (1.10) reakcióban keletkező gerjesztett oxigén molekulának a gerjesztési energiája lehetőséget ad – többek között- a vízmolekulákkal való reakcióra (1.11).

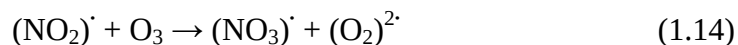


A rendelkezésre álló ismeretek alapján elmondható, hogy a hidroxilgyökök száma alacsony a légkörben, a levegőmolekulákhoz képest, de nagyon fontos szerepük van a troposzférában lejátszódó kémiai folyamatokban. Számos gázt kivonnak a levegőből, például a szén-monoxidot (1.12) és a metánt (1.13).



A OH -gyök létrehozásához napsugárzásra van szükség, ezért keletkezését sok tényező befolyásolja (földrajzi szélesség, év, napszak). Koncentrációja a déli órákban a legmagasabb, éjszaka viszont nagyon alacsony. Éjjel a fő oxidáló anyag a nitrátgyök, amely nitrogén-dioxid és ózon reakciójának (1.14) eredményeként

alakul ki, kevésbé reakcióképes, nappal fotokémiaailag gyorsan bomlik nitrogén-dioxid és oxigén keletkezése közben.[7]

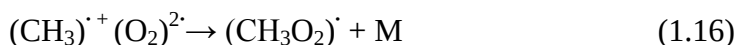


2.5.3.2. Hidrogén-peroxil- és alkil-peroxil-gyökök

A hidrogén-peroxil-gyök keletkezéséhez hidrogén gyökök és molekuláris oxigén reakciója szükséges (1.15).



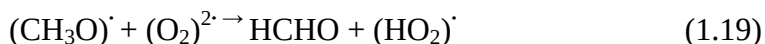
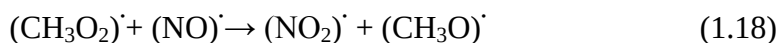
Az alkil-peroxil-gyök oxigén és metil-gyök ($\text{CH}_3^{\cdot}$) reakciójából születik (1.16).



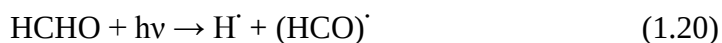
Mindkét gyökre jellemző, hogy egyik oxigénjüket hamar leadják, így lépnek reakcióba a nitrogén-monoxiddal, amely reakció által ózon, majd hidroxilgyök keletkezik. Ha hidrogén-peroxil-gyök reakcióba lép a nitrogén-monoxiddal (1.17), akkor is hidroxilgyök képződik.



A metoxigyök ($\text{CH}_3\text{O}^{\cdot}$) az oxigénnel reagálva formaldehidet (HCHO) képez (1.19).

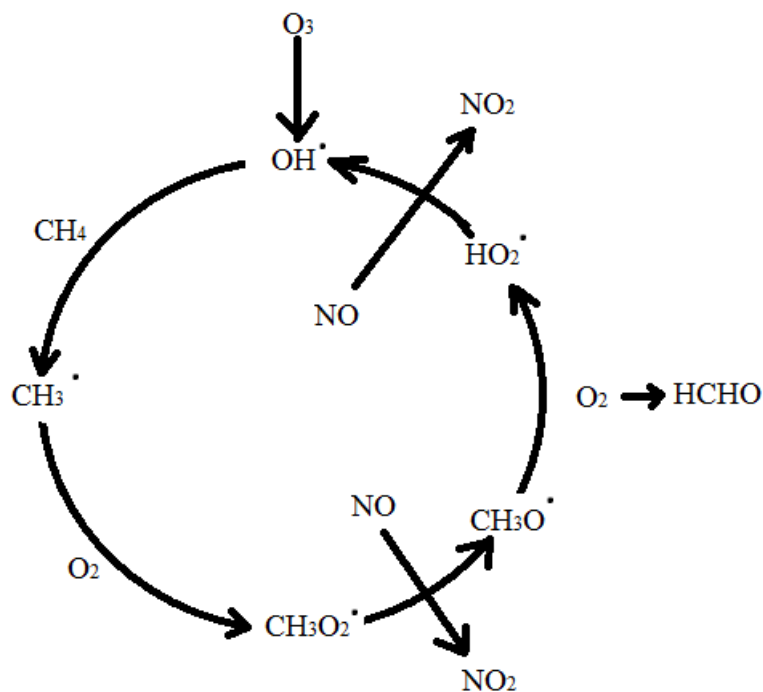


A formaldehid molekula $\lambda < 338$ nm hullámhosszú sugárzás hatására reakcióképes gyökök (1.20) és szén-monoxid (1.21) keletkezése mellett elbomlik.



A fenti folyamatok egy körfolyamatot alkotnak és általuk egy egészen bonyolult reakciómechanizmushoz jutunk. Ezek a reakciók a levegőben lévő kémiai

folyamatokban fontos szerepet játszanak. A fenti reakciók következtében kialakuló körfolyamatot a 4. ábrán összefoglalva mutatom be. [7]

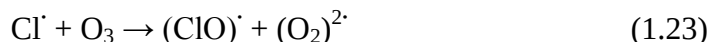
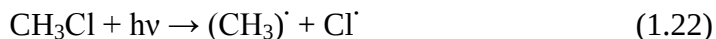


4. ábra Szabad gyökök keletkezéséhez vezető kémiai körfolyamat a troposzférában [7]

2.5.3.3. Halogéntartalmú gyökök

A halogéntartalmú gyököknek főként az ózonbontásban van nagy szerepük. Természetes körülmények között metilgyök halogénnel alkotott vegyületeiből származtathatóak, ezeket a vegyületeket az óceáni bioszféra metilezéssel termeli, amely folyamat során az élő szervezetek, a számukra káros anyagokat metil vegyületekké alakítják. Három fő vegyület, ami így kerül a környezetbe a metil-klorid, metil-bromid és a metil-jodid.[7]

Az első két vegyület tartózkodási ideje miatt, a sztratoszférába is eljut, ahol OH-val lépnek reakcióba vagy metil gyökre, atomos klórra esnek szét, a metil-kloridra ez a folyamat (1.22) egyenletben van szemléltetve. A keletkezett klór nagyon gyorsan vegyül (1.23), amely folyamat ClO[•] gyököket eredményez.



A metil-jodid már a troposzférában disszociál, így csak a talaj közelében van szerepe az ózon kivonásában.[7]

Az antropogén eredetű halogénezett szénhidrogének (szénhidrogén hidrogénjeit halogénnel helyettesítjük), a talaj közelében teljesen inertek, viszont a tartózkodási idejük nagyon nagy, ezért a sztratoszférába jutnak, ahol UV sugárzás miatt fotolízisen (1.24) mennek keresztül.



Hasonló folyamaton megy keresztül a freon-11 (CFCl₃), a szén-tetraklorid (CCl₄), a metil-kloroform (CH₃CCl₃) is. [7]

2.5.4. A fotokémiai füstköd

A légszennyezés mértéke a légkör állapotára is -meteorológiai viszonyoktól függően- igen nagy mértékben kihat. A különböző légszennyező anyagoknak a forrásaiktól való távolsága alapján beszélhetünk lokális, regionális-kontinentális és globális nagyságú légszennyeződésről. Ebben a fejezetben a lokális- települési kiterjedésű légszennyeződésről, füstködőről írok részletesen. Ilyen típusú légszennyeződés akkor alakul ki, ha a légszennyező anyagok koncentrációja a felszín közeli rétegekben jelentősen megnő és a kialakulásáért felelős feltételek rendelkezésre állnak.

Emellett még fontos szerep jut, a meteorológiai körülményeknek (inverzió), a domborzati viszonyoknak, amelyek egyértelműen befolyásolják a szennyező komponensek légköri eloszlását. Az inverziós vagy más néven fordított állapot lényege az, hogy a földfelszín közelében lévő meleg levegő alá hideg levegő áramlik be, mivel a hideg levegő nehezebb, így megszűnik a-sűrűségkülönbség hatására kialakuló- felfelé irányuló áramlás.

A szennyezőanyagok is ebbe a légterbe jutnak be, mivel a fenti folyamat következtében nincs keveredés, így a szennyezők sem hígulnak fel, hanem felhalmozódnak.[1, 24]

A füstködnek két fajtáját ismerjük, a lejátszódó mechanizmus szerint teszünk különbséget a redukáló (London-típusú) és oxidáló (Los Angeles-típusú) között. Az illékony szerves szennyezők szempontjából az oxidáló típusú füstköd a meghatározó. A kiváltó oka a nagy gépjárműforgalom. Általában június és szeptember között fordul elő, a déli órákban, amikor a hőmérséklet meghaladja a 24°C-ot és a relatív páratartalom alacsony, az égbolt tiszta. A füstköd kialakulásában a fent leírt tényezők mellett, fontos szerepet játszik a kipufogógázokból származó, égés során keletkező, nitrogén-monoxid (NO), és a tökéletlen égés következtében kialakuló elégtelen szénhidrogének (C_xH_y). A keletkezett vegyületek valamint a levegő oxigénje között a napsugárzás hatására különböző kémiai reakciók játszódnak le, amelyek során ózon (O₃), peroxi-acil-nitrátok és szerves peroxi gyökök keletkeznek.[1, 24]

2.5.4.1. A füstködben lejátszódó reakciók

A füstköd kialakulásához szükség van ózonra.



Az ózon molekuláris oxigén és atomos oxigén reakciójából (1.25) származik. Az atomos oxigén a nitrogén- dioxid napsugárzás hatására történő bomlásából (1.26) származik.

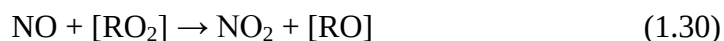


A nitrogén- monoxid reakcióba lép az ózonnal (1.27), így újra nitrogén- dioxid keletkezik. Elindul, az úgy nevezett ózon-nitrogén-dioxid ciklus.

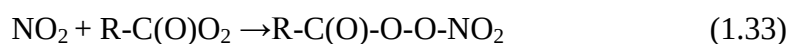


A troposzférikus ózon koncentrációja egyenesen arányos a nitrogén-dioxidéval, fordítottn arányos a nitrogén-monoxidéval, de a nitrogén-oxidok, ezáltal az ózon koncentráció változtatásában is részt vesznek.

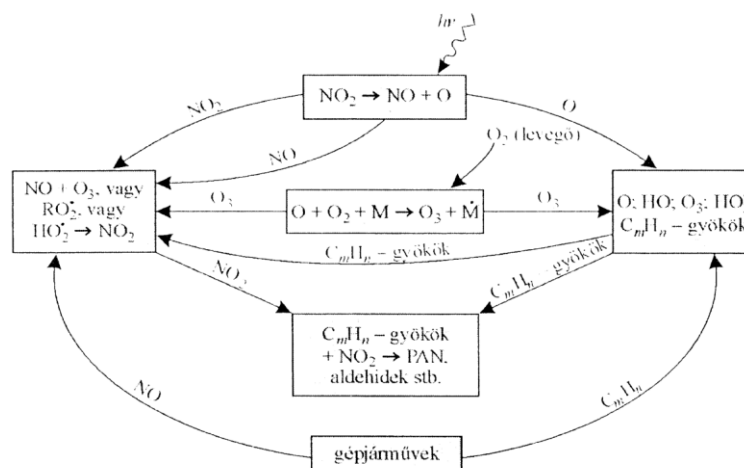
Az ózon koncentrációját még egyéb komponensek is befolyásolják, ilyen befolyásoló komponens például a peroxi-gyök, amely az elégetlen szénhidrogének és a vízgőz, napsugárzás hatására lejátszódó reakciójából keletkező OH-gyök további reakciójának eredménye. Első lépésben szénhidrogén gyök keletkezik (1.28), majd ez lép reakcióba a légkörben található oxigénnel (1.29) és így alakul ki a peroxi-gyök.



A fenti vegyületeken kívül még a peroxi-acetil-nitrát (PAN), peroxi-benzoil-nitrát (PBN), salétomsav, dialkil-peroxidok, alkil-hidro-peroxidok, hidrogén-peroxid is komponense a füstködnek. Ezek az anyagok az esővízzel távoznak kimosódás során.



A fent leírt fotokémiai füstköd képződési reakcióinak együttesét szemlélteti az 5. ábra. Az ábrán látszik, hogy a közlekedés által kibocsátott nitrogén-oxidok és elégetlen szénhidrogének a napsugárzás hatására jelentős szerepet töltenek be az oxidáló füstköd képződésében.[1, 24]



5. ábra A fotokémiai füstköd jellegzetes reakciói[24]

2.6. Az illékony szerves szennyezők egészségügyi hatásai

A VOC-k a léggéssel könnyen bejutnak a szervezetbe, és ha elég hosszú az expozíciós idő, akkor nagyon kis mennyiség is komoly egészségügyi kockázatot jelenthet.

A benzol az egyik egészségre legveszélyesebb komponens, lipidekben gazdag szövetekben (csontvelő, mellékvese, zsírszövet) halmozódik fel, genotoxikusan rákkeltő anyag (mind a testi és mind az ivari sejtek örökítő anyagára hat, megváltoztatja a DNS-ben lévő információt), ezért nincs alsó küszöbérték meghatározva rá, mivel nincs olyan mennyiség, amely ne lenne veszélyes az emberre. Krónikus hatása vérképzőszervi elváltozásokat, fehérvérűséget, nyirokrendszeri daganatokat okozhat. Valószínűleg az emberi szervezetben elősegíti a leukémia kialakulását. Ezek mellett neurotoxikus hatás is lehet. A benzol fő forrása a benzinüzemű járművek belsőégésű motorja, nagy koncentrációban forgalmas utak mentén, benzinkutak, olajfinomítók közelében fordulhat elő. [25]

A toluol szédüléstüneteket okozhat akár alacsony koncentráció értékek belélegzésével is. [26]

A legtöbb illékony szerves szennyezőre igaz, hogy szem- és bőrizgató hatású, belélegzése szédülést, fejfájást, hányingert, légúti hurutokat, asztmát okozhat [27]. Ezek mellett károsíthatják az immunrendszert, a csontvelőt, a májat, a vesét, a központi idegrendszert és még akár halláskárosodást is okozhatnak. [28]

A policiklikus aromás szénhidrogének (benzapiirén, benzantracén, ciklopentopirén, dibenzantracén, 1-metil-fenantrén) rákkeltőek, mutagének lehetnek és károsíthatják az immunrendszert. Ha a születés körüli időszakban kerül be a szervezetbe, akkor a hormonok termelését teljes mértékben megváltoztathatja. A különböző légszennyező anyagok jelentős veszélyt jelenthetnek a terhesség alatt is. A terhesség alatti embrió-toxikus anyagok közé tartozik a toluol és a formaldehid. [29]

A különböző penészgombákból (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium rubrum*, *Fusarium*-félék) származó mikotoxinok számos egészségügyi hatással bírnak. A légzőszervbe jutva izgatják az orr nyálkahártyáját, a szem kötőhártyáját, felső légúti panaszokat válthatnak ki, bőrgyulladást, illetve allergiát okozhatnak. A gyakrabban előforduló gomba fajok (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* vagy a *Mucor* gomba fajok) szénanáthát, asztmát, tüdő aspergillosist, tüdő mikrózist is okozhatnak, emellett megbetegíthetik a külső hallójáratokat, az orrüregeket, a szaruhártyát, akár még bőrgyulladást is okozhatnak. [30]

A fotokémiai füstködben lévő peroxi-acetil-nitrát (PAN), a peroxi-benzoil-nitrát (PBN), salétromsav, dialkil-peroxidok, alkil-hidro-peroxidok, hidrogén-peroxid szemirritáló hatású lehet. [24]

A dohányzás során is sokféle illékony szerves szennyező jut a környezetbe, amelyek összefüggésben állhatnak a tüdődaganat kialakulásában. A dohány és a papír tökéletlen égése során keletkeznek elsődleges és másodlagos mutagén vegyületek: nitrozamionok, policiklusos és monociklusos aromás szénhidrogének, alkiláló ágensek, amelyeknek támadáspontja a DNS. [31]

A formaldehid illetve annak vizes oldata, a formalin rákkeltő vegyületek. Hatásaikra pont mutáció, kromoszómaaberráció, testvérkromatida- kicserélődés következhet be [32]. A formaldehid jellegzetes szúrós szagú gáz, amely a mindennapi életben származhat bútortalapokból, főként faforgácslemezből, műanyag padló- és falburkolatokból, felületkezelő anyagokból, háztartási tisztítószerkekből, poliuretán habokból, filctollakból és a dohányfüstből.

A daganatkeltő hatása mellett még, okozhat, krónikus náthát, köhögést, légúti szűkületet, alvászavart, allergiát, szívpanaszokat, hajhullást és ronthatja a szervezet lokális védekező képességét. [28]

A klórozott szénhidrogének közül kiemelkedő a poliklórozott bifenil (PCB), amely származhat festékekből, lakkokból, égéskésleltetőkből, lágyítókból, míg a penta-klór-fenol (PCP), fertőtlenítő szerekből, favédőszerekből. A polivinilklorid (PVC), csomagoló fóliákból, edényekből, vízszigetelő anyagokból, padlóburkoló anyagokból, nyílászáró anyagokból származhat. Egészségügyi hatásai: központi idegrendszer esetleges károsítása, légzészavarokat, tüdőkárosodást, tumorokat, máj-, lép-, vesekárosodást okozhatnak. [28]

Az irodalmi összefoglalóban összefoglalt ismeretek nem tükrözhetik a teljes képet az illékony szerves szennyezők környezeti hatásáról, mivel az újabb kutatási technológiák, fejlesztések, kísérletek segítségével napról-napra új felfedezések, eredmények kerülnek napvilágra. A környezeti, egészségügyi hatásokról az eddigi ismeretek alapján megállapítható, hogy már néhány $\mu\text{g}/\text{m}^3$ koncentrációban is veszélyesek lehetnek, ezért nagyon fontos az, hogy ismerjük az egyes komponensek pillanatnyi koncentráció-eloszlását.

Az idők során több városban voltak az illékony szerves szennyezőkre vonatkozó vizsgálatok. Chiang Hung-Lung és munkatársai Dél-Taiwan nagyvárosaiban és ipari területein végzett mérések alapján megállapították, hogy az illékony szerves szennyezők koncentrációja a festékgyártó üzemek környezetében átlagosan 25 ppb étékkel nagyobb, mint a lakott területeken. Ez mellett megfigyelték, hogy a VOC-koncentrációt befolyásolta az ózon koncentráció is. [34]

Ki-Hyun Kima és munkatársai a környezeti levegő BTEX koncentráció viszonyait vizsgálva megállapították, hogy a hulladéklerakók környezetében ezen VOC komponensek koncentrációja néhány ppb (a toluolé kb. 10 ppb) értékkel haladja meg a lakott területen mért értéket.[35] Agnès Borbon és munkatársai 1997-2001 között végzett kutatásai eredményeként megállapították, hogy a nem metán szénhidrogének környezeti koncentrációját jelentősen befolyásolja a közlekedésből kijutó komponensek mennyisége. Szinte minden szénhidrogén (etán, etilén, aromások, acetilén) koncentráció szintje a közlekedéssel terhelt városi területeken nagyobb értékű, mint a külvárosi területeken. A kutatásaik során a VOC-k környezeti hatását is vizsgálták, megfigyelték, hogy az ózon képződési potenciáljának az emberi egészségre és ökoszisztémákra gyakorolt hatását figyelembe kell venni, mert káros hatással van azokra. [36]

3. Gyakorlati rész

A dolgozatban végzett gyakorlati munkám célja, hogy tájékozódjam a légköri levegőben található szennyezőanyagok fajtáiról, azok koncentrációjáról, a különböző szennyezettségek területi megoszlásáról, illetve a szennyezettség időbeli megoszlásáról Veszprém városra vonatkozóan. A méréseimet csak az illékony szerves szennyezőkre, bővebben a BTEX vegyületekre terjesztettem ki, ezen vegyületek légköri koncentrációját vizsgáltam a város több különböző pontján.

3.1. Illékony szerves szennyezők mérés technikája

A monitorozási megoldásokat tekintve különbséget kell tennünk a monitoring rendszer telepítését, működését illetően, abban az esetben, ha a mintavétel és az analízis egy helyen történik, akkor on-line monitorozásról beszélünk, ilyen például az OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) BTEX mérő hálózata. Ha a mintavétel és az analízis időben eltér egymástól, akkor off-line monitorozásról beszélünk. A dolgozatomhoz szükséges méréseket az utóbbi módszerrel végeztem. A mérés során az elsődleges feladatom a mérési hely kijelölése, illetve a mintavétel módjának, időtartamának meghatározása volt, majd elvégeztem a mintavételt.

Ezután a laboratóriumban elvégeztem a minták leoldását, majd a mérési módszer meghatározása után a minták analízise következett. A kapott adatok felhasználásával elvégeztem az eredmények kiszámítását, ezután levontam a megfelelő következtetéseket.

3.1.1. BTEX vegyületekre vonatkozó mérési szabványok

A BTEX vegyületek, illetve az illékony szerves szennyezők mérésére számos szabvány lett kidolgozva. A Magyar Szabványügyi Testület által a környezeti levegő minőségére kidolgozott szabványok a 4. táblázatban találhatóak.[33]

MSZ 21456-16:2004	Környezeti levegő vizsgálata. Benzol-, toluol-, etil-benzol- és xiloltartalom meghatározása gázkromatográfiás módszerrel
MSZ EN ISO 16017-1:2001	Beltéri, környezeti és munkahelyi levegő. Az illékony szerves vegyületek mintavétele és elemzése szorbenscsővel/termikus deszorpcióval/kapilláris-gázkromatográfiával. 1. rész: Szivattyús mintavétel (ISO 16017-1:2000)
MSZ EN ISO 16017-2:2004	Beltéri, környezeti és munkahelyi levegő. Az illékony szerves vegyületek mintavétele és elemzése szorbenscsővel/termikus deszorpcióval/kapilláris-gázkromatográfiával. 2. rész: Diffúziós mintavétel (ISO 16017-2:2003)

4. táblázat Mérési szabványok

A BTEX vegyületek mérésére az MSZ 21456-16:2004 szabványt használtam fel.

3.2. A mintavétel menete

A mintavételt a város több pontján végeztem el. A mintavételi helyek kiválasztásának szempontjai a következők: elsődleges szempont, hogy a mintavételi hely lakott területen, a közlekedés által különböző mértékben terhelt területen legyen, illetve fontos egy olyan terület kiválasztása, amely a forgalomtól távol esik (az emberek ezt használják kikapcsolódásra, itt nagy sétákat tehetnek, kocoghatnak), ezt a területet tekinthetjük háttérnek a szennyezettség tekintetében. A levegőmintákat speciálisan erre a célra kifejlesztett adszorbens csövet

használtam, melyet a 6. ábrán szemléltetett képen mutatok be. A mintavételi helyeket a 7. és 8. számú ábrákon számokkal jelöltem. A mintavétel a földfelszín felett 1,5-4 méterre történt, mivel az ember itt éli mindennapi életét, illetve tereptárgytól legalább 2 méter távolságban, ahol nincs szélről védett hely, mert ott feldúsulhat a szennyezőanyag. A mintavételek során a meteorológiai viszonyok szubjektív megfigyelésén túl, a szükséges meteorológiai adatokat a Veszprémben működő meteorológiai állomás (www.idojaras.veszprem.hu) adatai alapján jegyeztem fel.

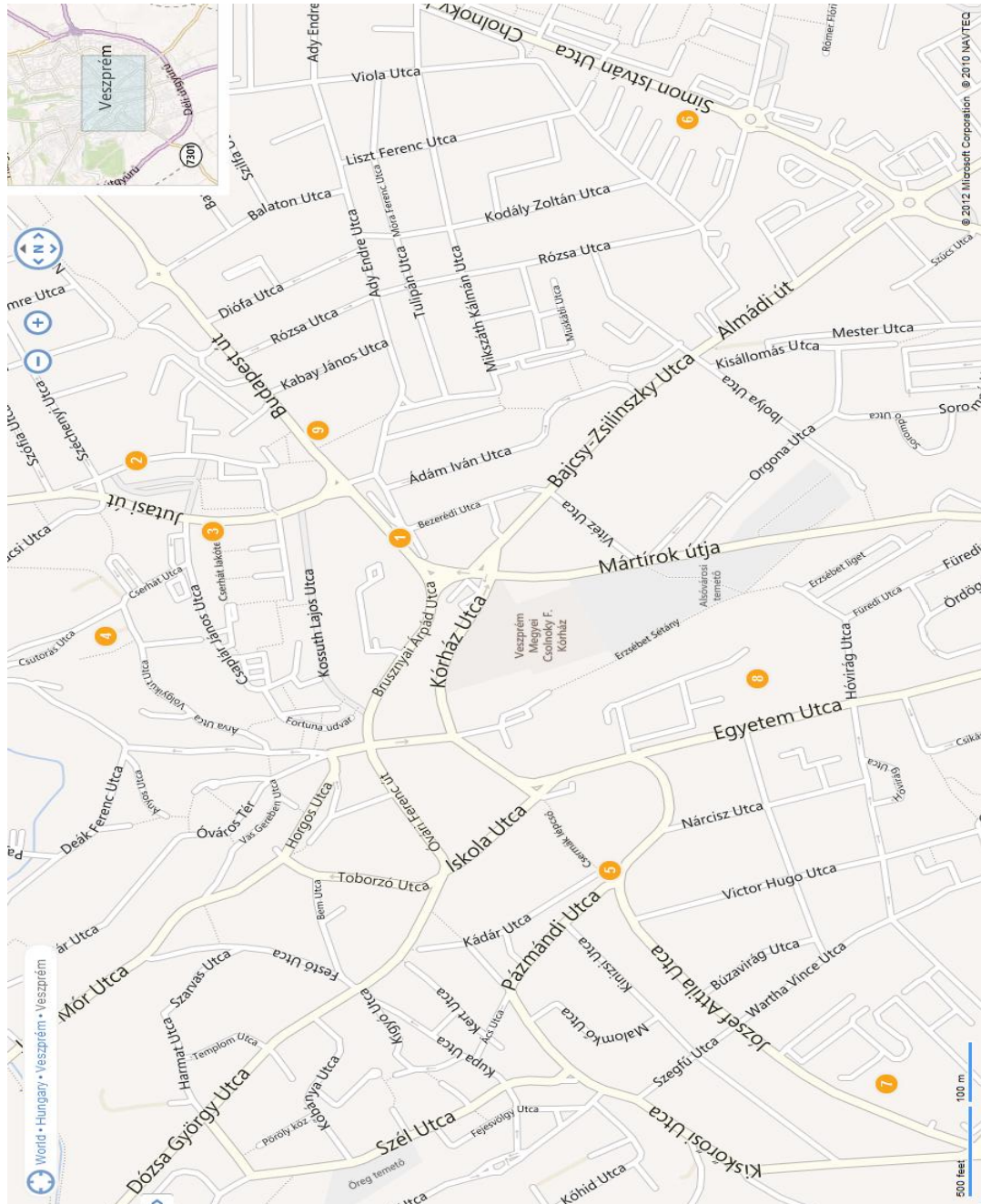


6.ábra Anasorb CSC adszorbens cső

3.3. A mintavételi helyek

A mintavételi helyszínekről képeket a *II. mellékletben* csatoltam.

A mintavételi helyek Veszprém belvárosában:



7. ábra Mintavételi pontok Veszprém belvárosában

Az 1-essel jelölt pont a Hotel Veszprémet jelöli, amellyel szemben történt a mintavétel, innen származnak a F-jelű, C-jelű, HT-jelű minták. Itt általában egy óra időtartamú mintavételek történtek, a HT-jelű minták esetében van kétórás mintavételből származó minta is.

A 2-essel jelölt pont a Bóbita Óvodát jelöli, amely udvarában történt a mintavétel, innen származnak a B-jelű minták, ezen a helyen is általában egy óra időtartamú mintavétel történt.

A 3-assal jelölt pont a Cserhát lakótelepet jelöli, ez a buszpályaudvarral majdnem szemben található, a mintavétel a lakótelep előtti helyi járatos buszmegálló felett történt, innen származik a BA1_1 jelű minta. Itt négy órás mintavétel történt.

A 4-essel jelölt pont a Csutorás utca 3. szám alatti családi házat jelöli, amelynek udvarában történt a mérés, innen származnak a BA2_1, BA4_1, BA5_1-jelű minták. Ezeken a helyeken három és négy óra időtartamú mintavétel történt.

Az 5-össel jelölt pont a Csermák lépcső tetejét jelöli, az ott található útelágazásban történt a mintavétel, az innen származó minta a BA3_1 jelű minta. Itt három óra időtartamú mintavétel történt.

A 6-ossal jelölt pont a Cholnoky lakótelep-Cholnoky út-Rózsa útkereszteződés melletti helyet jelöli, a mintavétel egy ott található játszótéren történt, majdnem a LIDL áruházzal szemben, az innen származó minták a CH6_1, CH7_1, CH8_1, CH9_1, CH10_1-jelű minták. Itt történ egy négy órás, illetve négy darab egy órás mintavétel.

A 7-essel jelölt pont a Hotel Magistert jelöli, amely előtt történt a mintavétel, innen származnak a CH11_1, MA1_1, MA2_1-jelű minták. Itt négy óra időtartamú mintavétel történt minden esetben.

A 8-assal jelölt pont az Egyetem C épületét jelöli, amely mögött található parkban történt a mintavétel, innen származnak a CH12_1, C4301_1, C4302_1-jelű minták. Itt öt, illetve kilenc órás, folyamatos mintavétel történt.

A 9-essel jelölt pont a Kossuth Lajos Általános Iskolát jelöli, amelynek udvarában történt a mintavétel, innen származnak a KO-jelű minták. Itt általában fél napos (8 - 14 óra időtartamú) mintavétel történt minden esetben.

World • Hungary • Veszprém • Veszprém

© 2012 Microsoft Corporation © 2010 NAVTEQ

29

Az 1-essel jelölt pontot az előbbi térképnél már említettük.

A 2-essel jelölt pont az Avar utca végét jelöli, ahol egy játszótéren történt a mintavétel, innen származnak a CH1_1, CH2_1, CH3_1, CH4_1, CH5_1-jelű minták. Itt történt egy négy óra időtartamú mintavétel, illetve négy darab egy óra időtartamú mintavétel az esetleges koncentráció fluktuáció meghatározása céljából.

A 3-assal jelölt pont a Gulya dombot jelöli, innen származnak a GD-jelű minták. Itt történt egy négy óra időtartamú mintavétel, illetve négy darab egy óra időtartamú mintavétel.

A 4-essel jelölt pont a Budapesti út végén található MOL kút melletti murvás parkolót jelöli, amely mellett történt a mintavétel, innen származnak a ML- jelű minták. Itt történt egy négy óra időtartamú mintavétel, illetve négy darab egy óra időtartamú mintavétel.

A mintavételi helyszíneket a pontosabb helymeghatározás érdekében, GPS koordináták szerint is kigyűjtöttem, a térképen jelölt mintavételi pontokhoz, tartozó helyszíneket, a helyszínekhez tartozó koordinátákat, illetve a helyszínekhez tartozó mintákat az 5. táblázatban foglaltam össze.

	Koordináták		Pont	Jelölt helyszín	Minta kódja
	É	K			
Belvárosi helyszínek	47°05'31.27"	17°54'44,85"	1	Hotel Veszprém	F, C, HT
	47°05'44.72"	17°54'51,36"	2	Bóbita Óvoda	B
	47°05'39.60"	17°54'43,94"	3	Cserhát lakótelep	BA1_1
	47°05'48.09"	17°54'34,96"	4	Csutorás utca 3.	BA2_1, BA4_1, BA5_1
	47°05'21.42"	17°54'17,00"	5	Csermák lépcső	BA3_1
	47°05'17.52"	17°55'19,10"	6	Cholnoky lakótelep-Lidl	CH6_1, CH7_1, CH8_1, CH9_1, CH10_1
	47°05'09.25"	17°53'59,17"	7	Hotel Magister	CH11_1, MA1_1, MA2_1
	47°05'14.23"	17°54'30,30"	8	Pannon Egyetem	CH12_1, C4301_1, C4302_1
	47°05'34.50"	17°54'58,73"	9	Kossuth Lajos Általános Iskola	KO
Külvárosi helyszínek	47°06'19.41"	17°53'16,33"	2	Avar utca	CH1_1, CH2_1, CH3_1, CH4_1, CH5_1
	47°05'20.41"	17°53'45,21"	3	Gulya domb	GD
	47°05'56.08"	17°55'42,93"	4	MOL kút melletti parkoló	ML

5. táblázat Mintavételi helyszínek adatai

A mintavétel során, 2 db, SIDEKICK (típusa: 224-52 MTX Air Sampling Pump) szivattyút használtam. A két szivattyú térfogatárama különbözik egymástól, a 106-os sorszámú szivattyú térfogatárama 127,6 Nm³/óra, a 107-es sorszámú szivattyú térfogatárama 120,1 Nm³/óra. A szivattyúhoz egy szilikon csövön keresztül csatlakoztattam az Anasorb CSC típusú adszorbens csövet. A csatlakoztatás előtt az adszorbens cső két végét megfelelően letörtem, majd kisebb szénréteg felőli rész felől helyeztem be a szivattyúhoz csatlakozó szilikon csőbe.

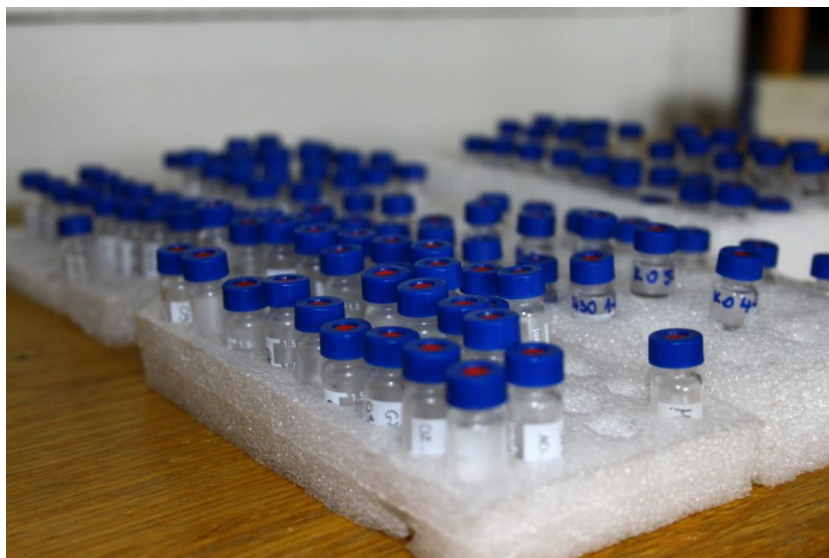
A megfelelő behelyezés azért fontos, hogy az adszorpciós front elsőként mindig a nagyobb szénrétegen jelentkezzen, tehát a levegőnek elsőként ezen kell átáramlania. A kisebb szénrétegen mért BTEX koncentrációk a nagy szénrétegen mért értékeknek maximum az 5 %-a lehet. Az adszorbens csövek végeinek megfelelő letörésére, tapasztalat alapján azért van szükség, mert a törés során kialakult áramlási keresztmetszet befolyásolja a szivattyú működését. Ha kicsi a keresztmetszet, a szivattyú többször, ellenkező esetben nagyon ritkán, vagy egyáltalán nem áll le. Ezért a mérési időtartam pontos meghatározása miatt, a szivattyún található kijelzőn jelzett időtartamok (percben kijelevve) és a valódi eltelt időintervallum pontos feljegyzése szükséges. A mintavétel során az egyik szivattyúval általában hosszabb időtartamú mérést végeztem, míg a másikkal 1-1 órás mintákat vettem. A meghatározott mérési idők leteltével az adszorbens csöveket eltávolítottam a szilikon csőből és a zárókupak felhelyezése, a megfelelő adatok feljegyzése után a laborba szállítottam őket. Az aktív szénen tárolt minták legfeljebb 10 napig voltak tárolva fénytől elzárt, száraz szénhidrogén szennyezéstől védett helyen.

3.4. A leoldás menete

Az adszorbens csöveken megkötött szénhidrogének eluenssel történő leoldásánál első lépésként előkészítettem üres, tiszta, a mintavételhez szeptumot tartalmazó zárókupakkal ellátott, 4 cm^3 térfogatú mintatartókat. Címkék segítségével megjelöltem az üvegeket, majd kupakkal ellátva lemértem a tömegüket. Ezután az adszorbens csőből az első szénréteget behelyeztem egy mintatartó üvegbe és analitikai mérlegen –kupakkal lezárt állapotban– újra lemértem a tömegét. A következő üvegbe helyeztem a második szénréteget, amelynek tömegét szintén lemértem. Ezt a folyamatot minden minta esetén ugyanígy elvégeztem. A tömegmérés befejezése után, a mintákat 2 cm^3 –méréssel meghatározott tömegű– nagy tisztaságú 99,9%-os spektroszkópiail célra készített (Acros) szén-diszulfiddal (CS_2) elárasztottam az adszorbeált anyag eluálása és oldatba juttatása céljából.

Az elárasztás befejezése után a mintákat egy alacsony, desztillált vizet tartalmazó főzőpohárba helyeztem, amely segítségével 30 percen át ultrahangos fürdőn rázattam, majd az ultrahangos rázó-fürdő után 30 percen keresztül centrifugáltam 1000 fordulat/perces fordulatszámon.

A leoldási folyamatok elvégzése után, a leülepedett szén felett található folyadékot, kisebb méretű, a nagy mintatartó edényekkel azonos jelzéssel ellátott, a gázkromatográf automata mintaadagolójába helyezhető, szeptumos mintatartó edénybe helyeztem át, fecskendő segítségével. Ezután a mintákat hűtőszekrénybe helyeztem az analízis megkezdéséig. Az 9. ábrán leoldott, analízisre kész mintákat mutatom be.



9.ábra A leoldott, analízisre előkészített minták

3.5. Mérőrendszer felépítése

A fentebb ismertetett, leoldással kapott elegyek szénhidrogén tartalmának analízisét gázkromatográfiás módszerrel végeztem. A kromatográfiás eljárások célja, a több komponenst tartalmazó anyagok (folyadék, gáz) komponenseinek az elválasztása. Az eljárás során egy mozgó és egy álló fázist alkalmazunk. A gázkromatográfia esetén a mozgófázis gáz, az állófázis lehet szilárd vagy folyadék. Az oszlopról eluálódó komponensek a detektorban jelet keltenek, amiket az idő függvényében ábrázolunk, ezt nevezzük kromatogramnak.

Az általam használt gázkromatográfiás berendezés segítségével gázkomponenseket tudunk egymástól elválasztani, az alkalmazott J&W GS Gaspro kolonna kimondottan az apoláros szerves vegyületek elválasztására alkalmas, amelyek közé sorolhatók pl. a BTEX vegyületek. Az általam használt gázkromatográfiás berendezésben lángionizációs detektor található. A lángionizációs detektor (Flame Ionisation Detector=FID), jelenleg a legáltalánosabban használt gázkromatográfiás detektor, széles lineáris tartománnyal rendelkezik ($\sim 10^7$). Szinte minden szerves molekula jelet ad, ezért nagyon széleskörűen alkalmazható. A mérés végeztével úgy nevezett kromatogramokat kapunk, amely elemzésével meghatározhatjuk a számunkra értékes információkat, a kalibráló gáz és egy ismeretlen minta mérése során kapott kromatogramot a *III. mellékletben* szemléltettem. A minőségi információ az egyes komponensekhez tartozó retenciós idők alapján adható meg, míg mennyiségi információt a csúcsok alatti területeket felhasználva, összetett számolást elvégezve kapunk.

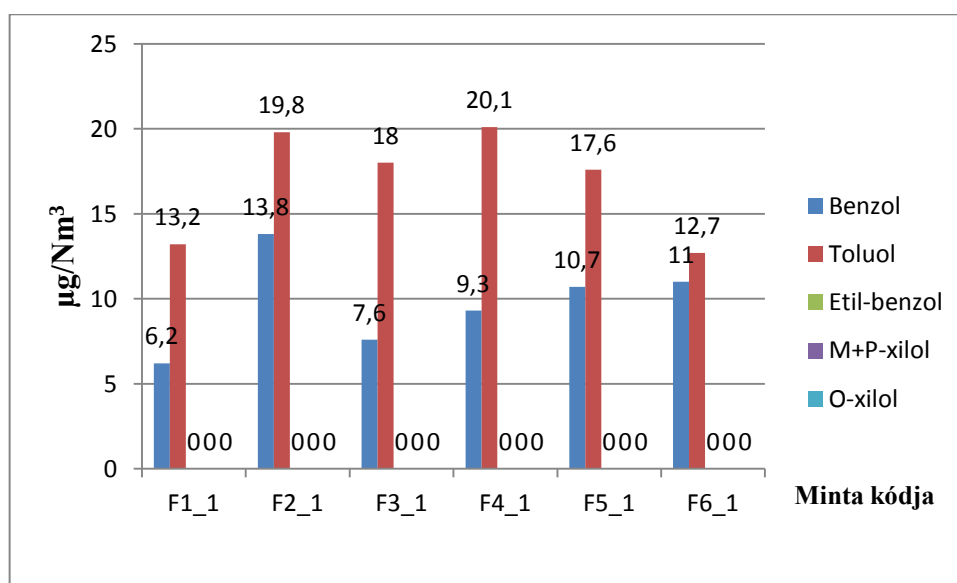
Az analízist megelőzően a berendezést kalibráló gázzal (1 ppm benzolt, 1 ppm toluolt, 1 ppm etil-benzolt, 1 ppm meta-xilolt, 1 ppm para-xilolt és 1 ppm orto-xilolt tartalmazott) kalibráltam. A m- és p-xilol együttes koncentrációja határozható meg a mérések során, mivel ezek egy időben eluálódnak az oszlopról. A kalibrálógáz mérése során kapott csúcsterületekhez viszonyítottam, az ismeretlen minták koncentrációjával arányos nagyságú csúcsterületeket, a kapott koncentráció értékeket minden esetben normálállapotú gázra ($T = 273,15\text{ K}$, 760 Hgmm) vonatkoztattam. A számítás menetét *IV. melléklet* tartalmazza. A mérés során használt GC-FID berendezés és a hozzá tartozó adatfeldolgozó rendszer fényképét a *10. ábrán* szemléltetem.



10.ábra A mérés során használt GC-FID berendezés és a hozzá tartozó adatfeldolgozó rendszer

3.6. A mért eredmények és következtetések

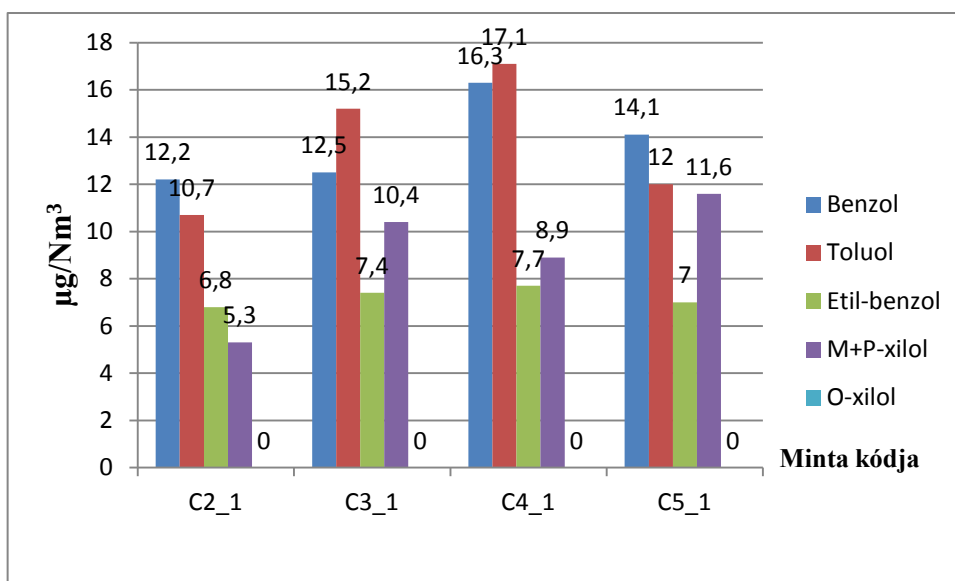
Az egyes helyszíneken mért koncentráció értékeket, a mintavételek pontos időpontját, illetve a szivattyúról leolvasható pontos időtartamát a V. és a VI. mellékletben foglaltam össze, helyszínek szerint, táblázatos formában. A mérési eredmények alapján az egyes komponensekre kapott koncentráció értékeket a mintavételi helyszínek szerint az alábbi 11.-22. ábrákon ábrázoltam.



11. ábra Hotel Veszprémmel szemben, a Budapest út járdáján vett 2012. januári minták.

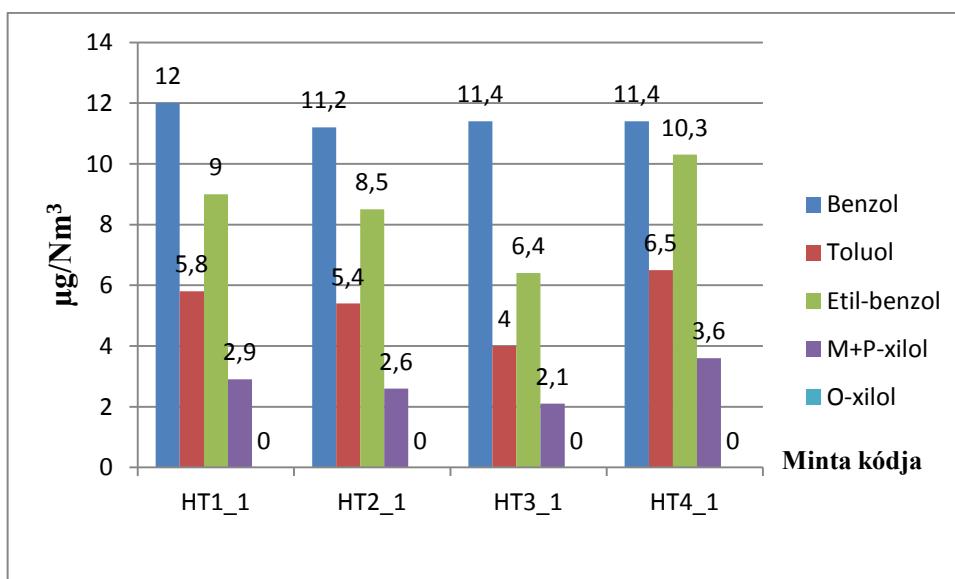
A fenti diagramon látható (11. ábra), hogy a benzol koncentrációk kisebb koncentrációban vannak jelen, mint a toluolé, de sajnos látható az is, hogy a benzol esetében három esetben is $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció túllépés figyelhető meg. Minden esetben egy óra időtartamú mintavétel történt. A $13,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentrációt 15:00 és 16:00 között mértük, így ez valószínűleg az adott időintervallumban jelentkező forgalomnövekedésnek köszönhető. A másik két érték, a $10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ és a $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a délelőtti órákban történt mérések eredménye, az első érték 10:00 és 11:00 közötti, a második 11:00 és 12:00 közötti mérés. Az itt jelentkező koncentrációnövekedések, főként a $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es érték, szintén visszavezethetőek a déli órákban kialakuló forgalomnövekedésnek (az elvégzett forgalomszámlálási adatok nem teljesek, egy személy végezte, így adatok maradhattak ki).

A toluol koncentráció minden esetben nagyobb, mint a benzol koncentrációja, viszont egyik mintában sem volt mérhető az etil-benzol, illetve a xilolok sem.



12.ábra A Hotel Veszprémmel szemben vett 2011. októberi minták.

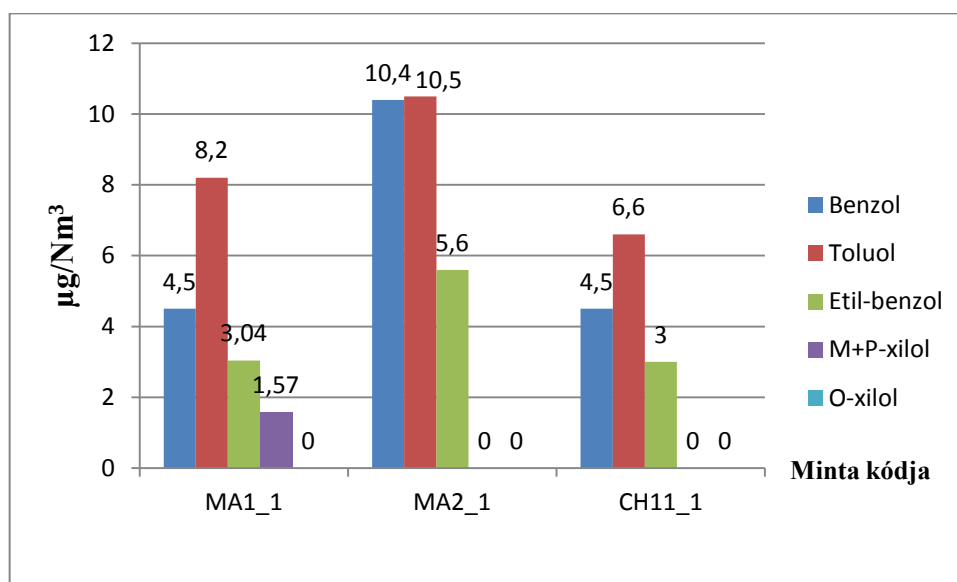
A Hotel Veszprém előtt vett 2011. októberi minták esetén (12. ábra) jelentős a benzol koncentráció, minden esetben túllépi a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentrációt, ha ez a koncentráció érték a mérést követő órákban is fent állna, akkor határérték túllépés következne be. A nagy benzol koncentrációk mellett jelentős a toluol, etil-benzol, illetve az m+p-xilol koncentráció is.



13.ábra A Hotel Veszprémmel szemben vett 2012. áprilisi minták.

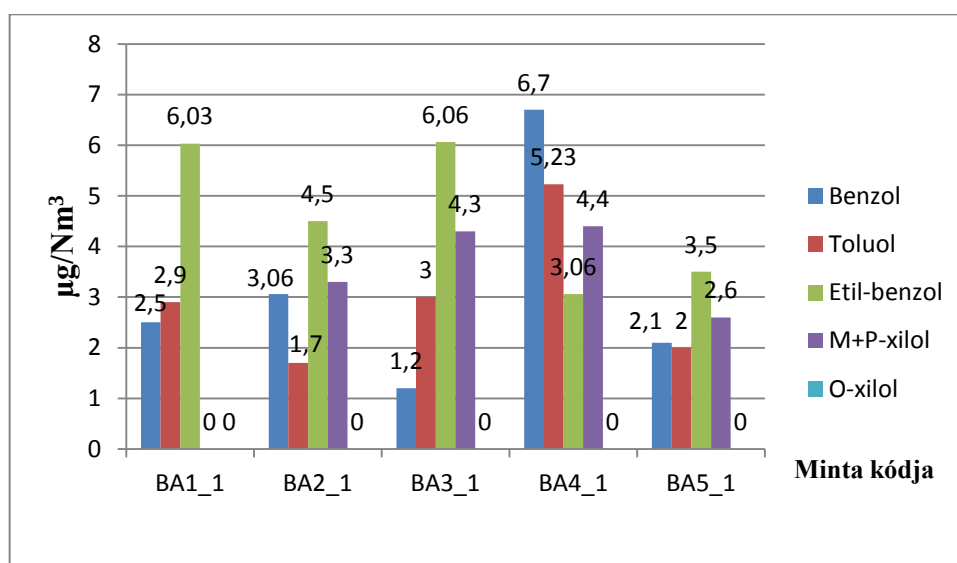
A Hotel Veszprém előtt vett 2012. áprilisi minták (13. ábra) esetében minden esetben $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció túllépés figyelhető meg a benzol esetén. A toluol koncentrációk $4\text{--}6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között, az etil-benzol $6,4\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között, az m+p-xilol $2,1\text{--}3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között változnak. A magas koncentráció értékek a Hotel előtt elhaladó, állandó forgalommal és a szennyezőanyag terjedését kevésbé elősegítő meteorológiai viszonyokkal magyarázhatóak.

A három különböző időpontban történt mérés eredményeit összevetve jól látható, hogy a 2011.-ben vett minták esetén nagyobb a toluol mért koncentrációja. A januári mintákban a benzol és a toluol kivételével más nem volt mérhető, míg az októberi minták esetében etil-benzol és m+p-xilol is jelentős mértékben volt jelen. A 2011. októberi és 2012. áprilisi mintákat összevetve jól látható, hogy áprilisban csökkent a toluol és az m+p-xilol koncentráció, viszont nőtt az etil-benzol mennyisége. A mérési eredmények alapján megfigyelhető, hogy mindkét időpontban $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció túllépés mutatkozott a benzol esetében (ha ez az állapot 24 óra átlagában is fennáll, akkor határérték túllépésről beszélhetünk).



14. ábra Hotel Magister előtt vett minták.

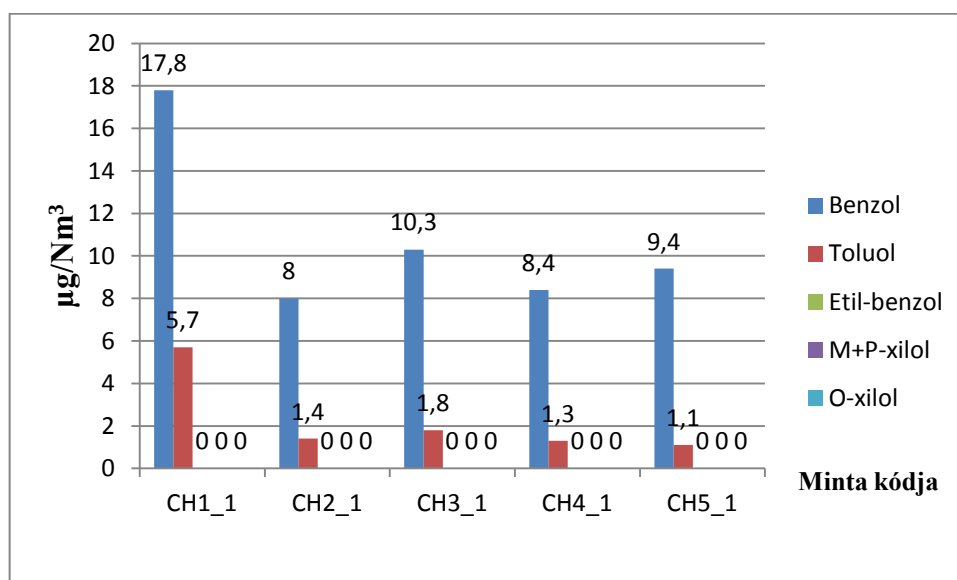
A Hotel Magister előtt vett minták (14. ábra) esetében egy alkalommal figyelhetünk meg benzol esetében $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentráció túllépést, ebben az esetben nagy a toluol, illetve az etil-benzol koncentráció is, ez a mintavétel reggel fél 8-tól kezdődően folyt délután fél 2-ig, és feltételezhető, hogy a nagyobb koncentráció értékek, a város e részéről beérkező autóbusz, illetve gépkocsiforgalomból származtathatók. Egy minta esetén (MA1_1) mértem m+p-xilolt, o-xilolt, míg a többi minták közül egyikben sem volt jelen a kimutathatósági határ feletti koncentrációban.



15. ábra Cserhát lakótelep előtt vett minta (BA1_1), Csutorás utca 3. szám alatt vett minták (BA2_1, BA4_1, BA5_1) és a Csermák lépcső tetején vett minta (BA3_1)

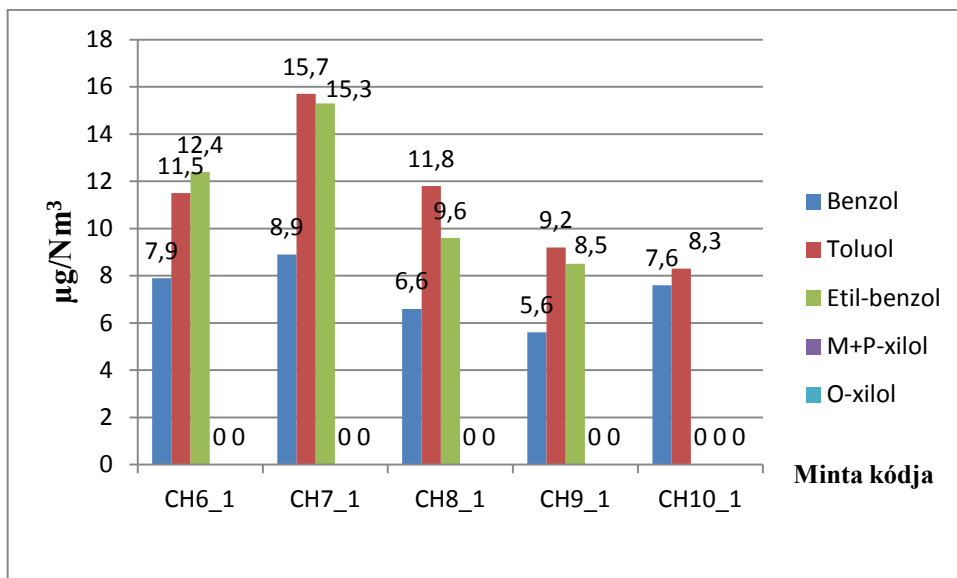
A Cserhát lakótelep előtt vett mintában (15. ábra) a benzol és a toluol koncentrációja is $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alatt volt, az etil-benzol értéke a korábbiakhoz képest nagyobb volt, míg xilolok ebben a mintában nem voltak mérhetőek. Ennél a mintánál a helyi járatos buszmegálló és a szemközti oldalon lévő autóbuszpálya udvar miatt nagy BTEX koncentráció lenne indokolt, ezzel szemben a mért - relatív - alacsony BTEX koncentráció volt jellemző, amely az aznapi erős napsugárzás hatására lejátszódó különböző fotokémiai folyamatok eredménye is lehet. Emellett a szél sem indokolta a koncentráció nagy értékét, a mintavételi hellyel ellentétes irányba szállította a légszennyező anyagokat.

A Csutorás utca 3. szám alatt vett minták esetén a várt eredmény kicsi koncentráció érték volt, mivel a terület forgalom által nem terhelt. Két minta esetén ez be is igazolódott, a harmadik mintánál viszont elég nagy koncentráció értékeket mértünk, ami arra vezethető vissza, hogy Dél-keleti irányból fújt a szél azokban az órákban, így az a város felől erre a területre szállította a légszennyező anyagokat. Mind három minta esetén mérhető volt az m+p-xilol is. A Csermák lépcső tetején vett mintában található BTEX vegyületek koncentrációja változó, a mintavétel során jelentős volt a napsugárzás, így a különböző átalakulási folyamatokkal is számolni kell, valószínű ezért kisebbek a mért koncentrációk, annak ellenére, hogy a mintavétel során jelentős volt az itt elhaladó forgalom.



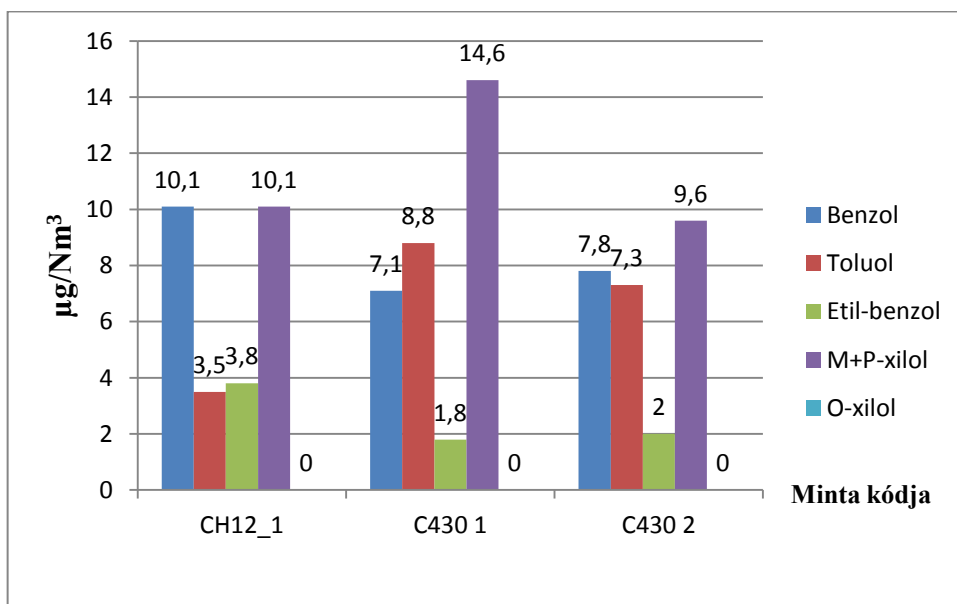
16. ábra Az Avar utca végén vett minták

Az Avar utca végén vett minták (16. ábra) esetében benzol és toluol mérhető csak, a toluol koncentráció viszonylag kicsi, kivéve a CH1_1 mintát. A benzol koncentrációk igen jelentősek, két esetben (CH1_1, CH3_1) 10 µg/m³-es koncentráció túllépés is megfigyelhető, ez azzal magyarázható, hogy a mintavétel helyszíne szomszédos az iparterülettel, ahonnan a szél jelentős mennyiségű légszennyező anyagot szállított, ami a mintákban kimutatható is volt. A mintavétel során kékes füstöt kibocsátó autóbusz is közlekedett a területen, illetve a közelben található ipari tevékenységből is származtatható BTEX vegyület.



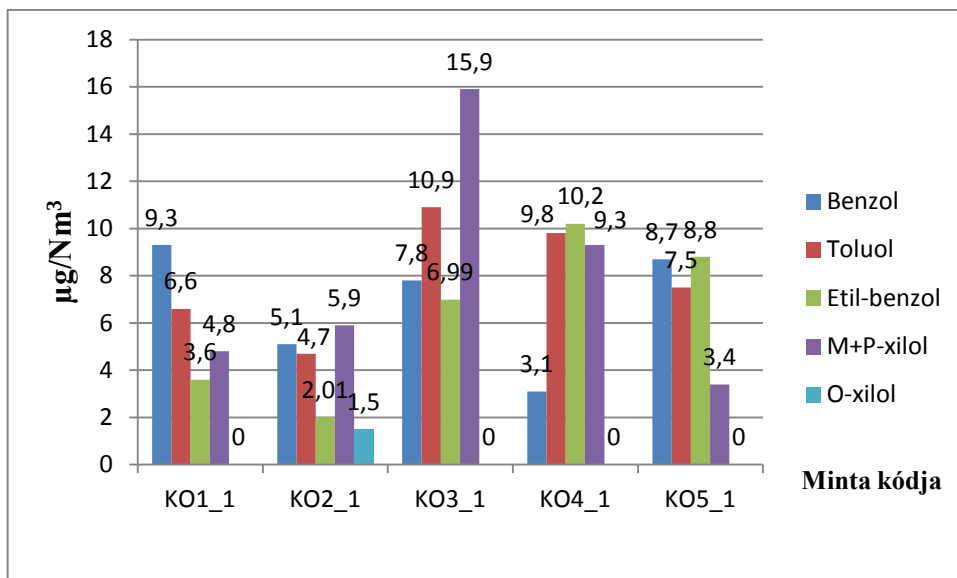
17. ábra A Cholnoky-lakótelepen (LIDL áruházzal szemben) vett minták

A mintákat a Cholnoky-lakótelepen vettem (17. ábra), az út mellett található egyik játszótéren, a mintavétel során az itt áthaladó forgalom jelentős mértékű volt, illetve a szél a város felől fúj, ezeknek a jelentkező hatásoknak, köszönhetőek a nagy koncentráció értékek. Majdnem az összes mintában a toluol koncentráció a legnagyobb és egyik mintában sem mértünk xilol-vegyületeket.



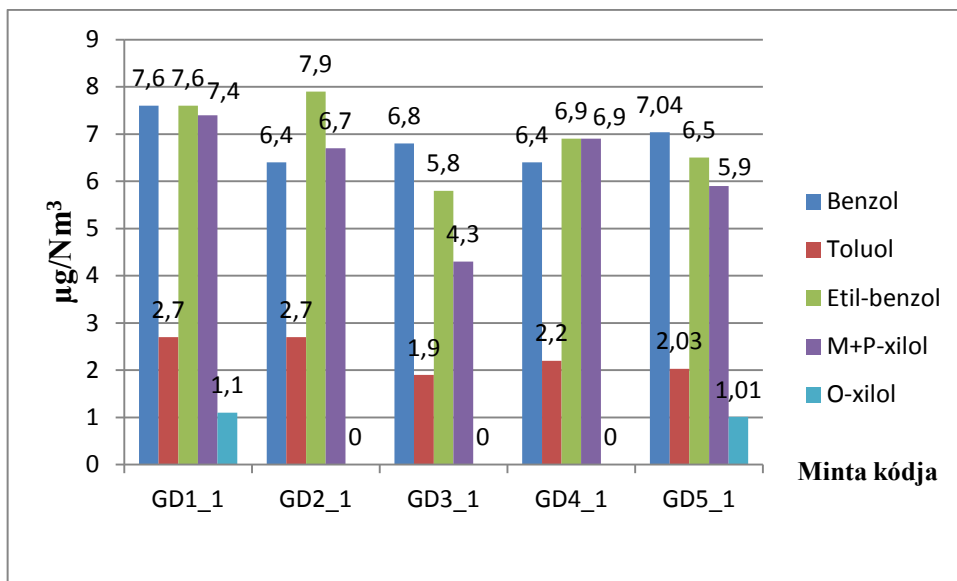
18. ábra A Pannon Egyetem C épülete mögött vett minták

A Pannon Egyetem C épülete mögött vett minták (18. ábra) esetén jelentős benzol, toluol, illetve m+p-xilol koncentrációkat mértem.



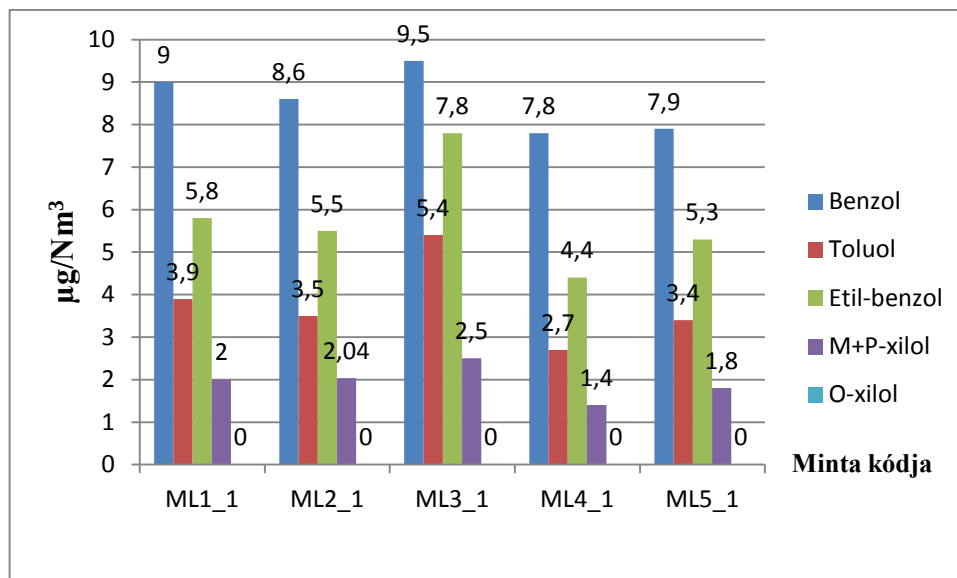
19. ábra A Kossuth Lajos Általános Iskola udvarában vett minták.

A Kossuth Lajos Általános Iskola udvarában vett mintákban (19. ábra) található BTEX vegyületek koncentrációja változó. A KO1_1, KO3_1, KO5_1 minták körülbelül reggel 8 órától délután 4 óráig tartó mintavétel során vett minták, a bennük található nagy BTEX koncentrációk a jelentős forgalomnak köszönhetőek, amely az iskola előtt a nap folyamán áthaladt, míg a KO2_1 és KO4_1 minták éjszakai minták, ezekben kisebb koncentráció értékek voltak mérhetőek. A KO2_1 es minta a KO1_1 mintavétel napját követő éjszaka vett minta, jól látható, hogy a nappali koncentrációkhoz képest az m+p-xilolt kivéve, minden érték kisebb értékben van jelen, ez köszönhető annak, hogy éjszaka csökken, illetve éjfél tájt majdnem meg is szűnik a forgalom, így az egyes komponensek diffúzió útján felhígulnak a légkörben. A KO4_1-es minta a KO3_1 mintavétel napját követő éjszaka vett minta, ebben az esetben is jól látható, hogy a napközben mért értékekhez képest, az etil-benzolt kivéve, minden komponens koncentrációja csökkent, ennek is lehet az oka a fent leírt folyamatok nagy része. A KO5_1 minta szintén nappali mérésből származó minta, amiben újra jól megfigyelhető, a napközben jelentősen növekedő forgalom hatása, főként a benzol, etil-benzol, toluol esetén igazolható ez a hatás.



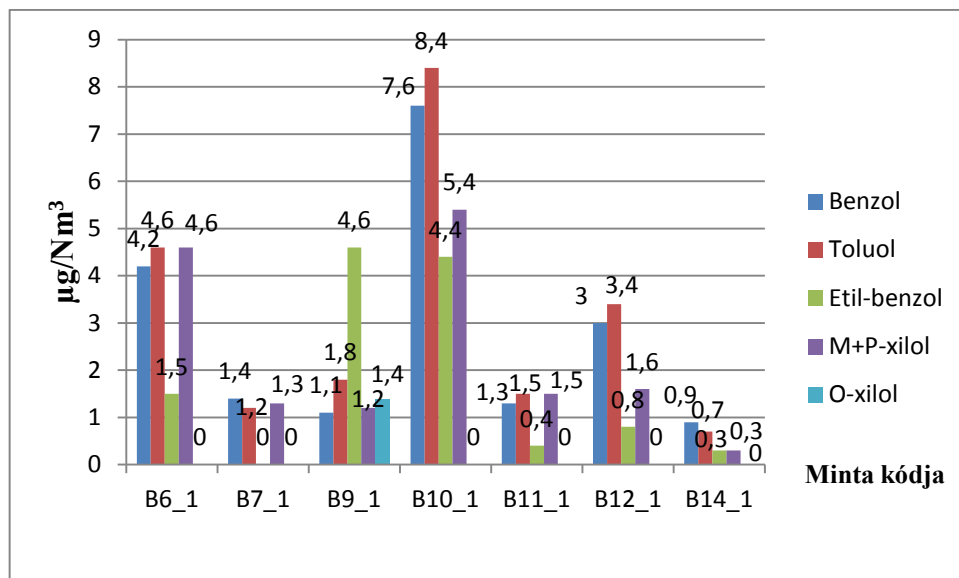
20. ábra A Gulya-dombon vett minták.

A Gulya-dombon vett minták (20. ábra) esetében az elvárás az volt, mivel a helyszín nem lakott területen van, forgalomtól nem terhelt, így a BTEX vegyületek koncentrációja nagyon kicsi lesz, ezt a területet szántam háttérnek. Az analízis után, azonban megfigyelhetővé vált, hogy az itt vett mintákban található BTEX vegyületek koncentrációja koránt sem elhanyagolható mértékű. Mivel ezek a vegyületek természetes forrásból nem származhatnak, így valószínűsíthető, hogy a Gulya-dombra a szél segítségével szállítottak, a szélirány megegyezett a Volán telep, Dózsaváros és a Pápai út mentén található ipari területek felől fújó széllel, így a nagy koncentráció értékeket innen származtathatók. A GD1-4 minták átlagát és GD5 mintát összehasonlítva benzolra, a minták közt lévő koncentráció különbség a laboratóriumi eszközök nyomnyi BTEX szennyeződéséből adódhat. Ezt igyekeztem minimalizálni a fecskendők cseréjével, alapos mosással, és forró hypos, hidrogén-peroxidos közegben végzett vegyszeres tisztítással.



21. ábra A MOL kút (Budapesti út) melletti murvás parkolóban vett minták.

A MOL kút mellett található murvás parkolóban vett minták (21. ábra) esetén, jelentős benzol koncentráció figyelhető meg, az o-xilol kivételével a többi BTEX vegyület is jelen van kisebb-nagyobb koncentrációban. A toluol koncentrációja $3,4-5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között, az etil-benzol koncentrációja $4,4-7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között változott. Az m+p-xilol koncentrációja kicsi minden minta esetén, persze a BTEX vegyületek esetén a kis koncentrációkat sem szabad elhanyagolni! A magas koncentráció értékek nem okoztak meglepetést, ugyanis a parkoló mellett található Budapesti úton elhaladó forgalom jelentős mértékű volt, illetve a mintavételi hely szomszédjában található a MOL benzinkút területére bevezető út. Rengeteg autó lassított le ezen a helyen és fordult be a benzinkútra, a mérés során sokszor alakult ki olyan helyzet, hogy több gépjármű állt egymás mögött, míg felszabadult egy-egy töltőkút, a várakozás alatt a gépjárművek motorjai folyamatosan üzemeltek. Emellett a benzinkút mögött egy autófényező műhely is található, ahonnan elpárolgó oldószergőzők és más anyagok között sok illékony szerves szennyező található. A mérési hellyel szemben található egy másik benzinkút is, ahol a fent említett helyzethez hasonló helyzet állt fent elég gyakran. A Budapesti úton található első lámpás kereszteződésben, nagyon gyakran gépjárművek sora várakozott, főleg mikor Székesfehérvár irányából jelentős forgalom érkezett be a városba. A fent említett hatások mindegyike hozzájárulhat, a nagy koncentráció értékek kialakulásához.



22. ábra A Bóbita Óvoda előtt vett minták.

A Bóbita Óvoda előtt vett minták (22. ábra) éjszaka, illetve nappal vett mintákra bonthatóak. A B7_1, B9_1, B11_1, B14_1 minták éjszaka, míg a B6_1, B10_1 B12_1 minták nappal vett minták. Megfigyelhető, hogy az éjszakai minták esetében kisebb koncentráció értékűek a vegyületek, míg a nappal vett mintáknál jóval nagyobb koncentrációban vannak jelen a BTEX vegyületek. Az éjszaka mért alacsony koncentráció, az éjszaka megszűnő gépjármű forgalomnak köszönhető, ugyanis általában majdnem minden autóbusz elhalad az óvoda előtt, mivel az autóbuszok csak azon az úton tudnak a pályaudvarra beérkezni vagy onnan távozni, emellett a piaci napokon hozzáadódik a Vásártérről távozó gépjárműforgalom, mivel a Vásártér parkolóból csak a Bóbita Óvoda előtt található úton lehet elhajtani. Ezek a hatások éjjel nincsenek jelen, így jelentős koncentráció csökkenés következik be. A nappali mintákból kapott koncentráció értékeken pedig jól látható a fent említett hatások koncentráció növelése.

A mérések során elhasznált aktív szén tölteteket összegyűjtöttem, megvizsgáltam, hogy azokon történt-e szerkezet változás, esetleg újra felhasználható-e. A morfológiai szerkezet vizsgálat, tekintettel, hogy érdemben nem tartozik a VOC-koncentráció eloszlásához, így a vizsgálat módszerét és eredményeit a VII. mellékletben ismertetem.

A mellékletben bemutatott pórusszerkezeti eredmények alapján, valószínű az aktív szén újra felhasználható. Ennek biztosítására további vizsgálatok szükségesek.

4. Összefoglalás

A dolgozatom irodalmi részében jellemeztem az illékony szerves szennyezőket (VOC) kibocsátó természetes és mesterséges forrásokat, összefoglaltam a VOC-k egészségügyi, környezeti hatásait és áttekintettem a rájuk vonatkozó nemzetközi egyezményeket, hazai és európai uniós jogszabályokat is. Néhány releváns nemzetközi szakirodalom feldolgozásával megállapítottam, hogy az emberi tevékenységek befolyásolják a környezeti levegőben a VOC-k koncentrációját.

Dolgozatom gyakorlati részében bemutattam a környezeti levegő VOC koncentrációjának meghatározására alkalmazott mérési módszert, a mintavételi helyeket és a minták kvalitatív és kvantitatív analízisét, részletesebben tárgyaltam a benzol, toluol, etil-benzol és xilolok (BTEX) mérését.

A kapott eredményekből megállapítottam, hogy Veszprém város egyes pontjain a BTEX vegyületek eltérő koncentráció értékben vannak jelen. (A pontos koncentráció-eloszlás meghatározásához a város több pontján, azonos időpontban zajló, párhuzamos mintavételre lenne szükség, erre a több mintavevő szivattyú hiányában nem volt lehetőségem.) A mérés pontosságának javítása érdekében azonos helyen párhuzamosan, két szivattyúval végeztem a mintavételt, a mintavétel során az egyik szivattyúval órás mintákat vettem, a másik szivattyúval pedig a teljes mintavételi idő alatt egy adszorbens csőre vettem levegő mintát. Az órás mintákból átlagot vonva azonos eredményt kell kapnunk a hosszú periódusú mintával. Számításaim alapján megállapítottam, hogy a két mérés közötti eltérés 1-6 % közt, az ML minták esetében ez átlagosan 3,5% körül alakult. Méréseim során azonos időben, két különböző helyszínen történő mintavételt is végeztem, amelyből megállapítottam, hogy a város egymáshoz közel (1 km-en belül) eső pontjai közt több $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -es koncentrációkülönbség adódott. Ez a néhány $\mu\text{g}/\text{m}^3$

különbség etil-benzol esetében azt jelenti, hogy a Csutorás utcában mért BTEX koncentráció $\frac{3}{4}$ -e a Cserhát-lakótelepnél mért értéknek.

Az eltérő értékek is bizonyítják, hogy hasznos lenne azonos időben, különböző helyszíneken mintát venni, hogy az időjárási paraméterek, a légköri elkeveredés, a fotokémiai degradáció és az emisszió mértéke közötti összefüggéseket jobban megismerhessük.

Az Intézetben végzett korábbi kutatások során problémát jelentett a leoldott minták eltarthatósága, ennek megoldását a tárolási idő minimalizálásával és a hűtési folyamat csökkentésével (maximum egy éjszaka), azonnali analízissel értem el. Hasonlóan a korábbi kutatások elvégzése során bebizonyították, hogy a túl hosszú időperiódusú átszívatással vett minták esetén nem lehetett elkülöníteni a különböző, a koncentrációt befolyásoló hatásokat (esetleges forgalommal terhelt időszakok, napsütéses órák időtartama, egyéb meteorológiai paraméterek változása) egymástól. A korábbi tapasztalatokat figyelembe véve a munkám során 4 órás mintavételeket bonyolítottam le, általában ezeket a méréseket a napoknak jól meghatározott időszakában végeztem.

Összefoglalva megállapítottam, hogy nem elhanyagolható az illékony szerves szennyezők koncentrációja Veszprém város levegőjében, a közúti forgalommal terhelt belvárosi mintavételi helyeken a BTEX koncentrációk nagyobb értékűek. A városra vonatkozó VOC-koncentráció eloszlás tökéletesebb helyzet értékelésére további, rendszeres koncentráció ellenőrzést javasolnék.

Irodalomjegyzék

- [1] **Fülöp Tamás:** *Földünk állapota*, Pannon Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Intézeti Tanszék munkaközössége, Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém, pp: 173-195 **2007**
- [2] **Pitts, Finlayson:** Mechanismen der photochemischen Luftverschmutzung.=Angew.Chem. 87. k. 1. sz. 1975.pp:18-33.
- [3] **Mészáros Ernő:** *Légkörtan*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, **1993**
- [4] 40 CFR 51.100 - Definitions. - Code of Federal Regulations - Title 40: Protection of Environment - Subpart F: Procedural Requirements - Id 19784887 - vLex. [Online] [Hivatkozva: 2012. 09. 12.]
- [5] 10/2001. (IV. 19.) KöM rendelet és módosítása 21/2005. (VIII. 26.) KvVM rendelettel az egyes tevékenységek és berendezések illékony szerves vegyület kibocsátásának korlátozásáról
- [6] Az Európai Parlament és a Tanács 2004/42/EK irányelve (2004. április 21.) a szerves oldószerek egyes festékekben, lakkokban és jármű utánfényezésére szolgáló termékekben történő felhasználása során keletkező illékony szerves vegyületek kibocsátásának korlátozásáról és az 1999/13/EK irányelv módosításáról
- [7] **Mészáros Ernő:** *Levegőkémia*, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, pp: 17-66 **1997**
- [8] **Utasi Anett:** *Földünk állapota*, Pannon Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Intézeti Tanszék munkaközössége, Pannon Egyetemi Kiadó, Veszprém, pp: 29-61 **2007**
- [9] 1005/2009/EK. Rendelet (2009.szeptember 16.) az ózonréteget lebontó anyagokról
- [10] 2004/42/EK rendelet (2009.április 21.) a szerves oldószerek egyes festékekben, lakkokban és a jármű utófényezésére szolgáló termékekben történő felhasználása során keletkező illékony szerves vegyületek kibocsátásának korlátozásáról
- [11] A 715/2007/EK rendelet (2007.június 20.) a könnyű haszongépjárművek és haszongépjárművek (Euro 5 és Euro 6) kibocsátás tekintetében történő típusjóváhagyásról és a karbantartási információk elérhetőségéről
- [12] 306/2010. (XII.23.) Kormányrendelet a levegő védelméről

- [13] Veszprém Megyei Jogú Város 18/2011. (IV.29.) önkormányzati rendelete a füstköd-riadó tervről
- [14] 4/2011. (I.14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
- [15] 6/2011.(I.14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról
- [16] **Gonczi Andrea:** *Az élő természet adományai és veszélyeztetettségük*, 2004.[Online][Hivatkozva:2012.09.01]
<http://www.greenfo.hu/uploads/dolgozatok/Andiszakdoli.pdf>
- [17] **Dr. Virágh Zoltán:** *A penész egészségkárosító hatásai*. Építési portál.hu. [Online] [Hivatkozva: 2012. 09. 19.] http://www.epitesiportal.hu/cikkek/a-penesz-egeszsegkarosito-hatasai_44.php.
- [18] **Dong Sik Yang, Ki-Cheol Son, Stanley J. Kays:** *Indoor plants found to release volatile organic compounds*. Eurekaalert.org [Online] [Hivatkozva: 2012.09.02.] http://www.eurekaalert.org/pub_releases/2009-09/asfh-ipf090309.php
- [19] **Manuel Lerdau, Lawrence Slobodkin:** Trace gas emissions and species-dependent ecosystem services Trends in Ecology & Evolution, Volume 17, Issue 7, 1 July 2002, Pages 309-312
- [20] **Dr. Elmar Uherek, Michael Seesing, Prof. Jürgen Kesselmeier, Dr. Pascal Guyon:** *Biogén kibocsátás*. 2004. [Online] [Hivatkozva: 2012. 09. 18.]
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/6cd834b0c9da68858a97ae9f8e5e07e7,0/2__Uevegh_zhat_s__napsug_rz_s__s_a_bioszf_ra/_Kibocs_t_s_2sv.html
- [21] **Caroline Badol, Nadine Locoge, Jean-Claude Galloo:** *Using a source-receptor approach to characterise VOC behaviour in a French urban area influenced by industrial emissions*, Science of the Total Environment, **2007**
- [22] **Fortuna Zsuzsanna, Pólay István, Weiner László:** *Veszélyes anyagok az építőiparban*, Budapest, **2009**
- [23] **R. Gluch [et al.]:***Organikum:Organisch-chemisches Grundpraktikum* 19. Aufl. Leipzig. **1993**
- [24] **Rolf Kümmer.** *Környezeti kémia*. [ford.] Papp Sándor. Budapest Tankönyvkiadó, Budapest, **1992**

- [25] **A. Jolanta Buczynska, A. Krata, M. Stranger, A. F. L. Godoi, V.Kontozova-Deutsch, L. Bencs, I. Naveau, E. Roekens, R. Van Grieken:** *Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic*, Atmospheric Environment 43, pp: 311–318 **2009**
- [26] **Xiaokai Chen, Guoqiang Zhang, Quan Zhang, Hong Chen:** *Mass concentrations of BTEX inside air environment of buses in Changsha, China*, Building and Environment, Volume 46, Issue 2, pp: 421–427 **2011**
- [27] **Jávor I., Papházi T., Rozgonyi T.:** *Közpiskosság és közegészségtelenség Adalék a közterületek környezeti problémáinak hátteréhez.* Társadalomkutatás, 19 (1-2), pp: 79-92 **2001**
- [28] **Ávár Áron, Dr. Lányi Erzsébet:** *Az épületekben fellépő egészségkárosító hatások* [Online] [Hivatkozva: 2012. 09. 28.] <http://fenntarthato.hu/epites/leirasok/anyagok/epuletegeszsegugy>
- [29] XV. Primer Prevenció Fórum: „Környezeti ártalmak és szaporodás összefüggései” című előadásának összefoglalója 2008.május.21
- [30] **Dr. Virágh Zoltán:** *A penész egészségkárosító hatásai.* 2008. [Online] [Hivatkozva: 2012.09.22] http://www.epitesiportal.hu/cikkek/a-penesz-egeszsegkarosito-hatasai_44.php#ixzz1pBA9bxu8
- [31] **Kósa Zs., Széles Gy., Kardos L., Kósa K., Németh R., Ország S., Fésüs G., M. McKee, Ádány R., Vokó Z.:** *Az egészségkárosító szenvedélyek megelőzésére Budapest, 2010*
- [32] **Jakab M., Klupp T., Besenyi K., Biró A., Major J., Tompa A.:** *Formaldehid-indukált apoptózis és kromoszómaaberrációk formaldehiddel exponált dolgozóknál*, Budapest, **2009**
- [33] *A környezeti levegő minősége. Magyar Szabványügyi Testület.* [Online] [Hivatkozva: 2012. 09. 19.] <http://www.mszt.hu/szabvanyosit/filter2.asp?id=A%20k%F6rnyezeti%20lev eg%F5%20min%F5s%E9ge>.
- [34] **Chiang Hung-Lunga, Tsai Jiun-Horngb, Chen Shih-Yuc, Lin Kuo-Hsiungc, Ma Sen-Yi:** *VOC concentration profiles in an ozone non-attainment area: A case study in an urban and industrial complex metropolx in southern Taiwan*, Atmospheric Environment, Volume 41, pp: 1848–1860, **2007**
- [35] **Ki-Hyun Kima, Zang-Ho Shonb, Min-Young Kimc, Young Sunwoo d, Eui-Chan Jeon a, J.-H. Hongs:** *Major aromatic VOC in the ambient air in the proximity of an urban landfill facility*, Journal of Hazardous Materials, Volume 150, pp: 754-764, **2008**
- [36] **Agnés Borbon, Patrice Coddeville, Nadine Locoge, Jean-Claude Galloo:** *Characterising sources and sinks of rural VOC in eastern France*, Chemosphere, Volume 57, pp: 931–942, **2004**

I. melléklet – US EPA által VOC-k közé nem sorolandó vegyületek

methane

ethane

methylene-chloride

1,1,1-trichloro-ethane

1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane (CFC-113)

trichlorofluoromethane (CFC-11)

dichlorodifluoromethane (CFC-12)

chlorodifluoromethane (HCFC-22)

trifluoromethane (HFC-23)

1,2-dichloro 1,1,2,2-tetrafluoroethane (CFC-114)

chloropentafluoroethane (CFC-115)

1,1,1-trifluoro 2,2-dichloroethane (HCFC-123)

1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a)

1,1-dichloro 1-fluoroethane (HCFC-141b)

1-chloro 1,1-difluoroethane (HCFC-142b)

2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane (HCFC-124)

pentafluoroethane (HFC-125)

1,1,2,2-tetrafluoroethane (HFC-134)

1,1,1-trifluoroethane (HFC-143a)

1,1-difluoroethane (HFC-152a)

parachlorobenzotrifluoride (PCBTF)

cyclic, branched, or linear completely methylated siloxanes

acetone

perchloroethylene (tetrachloroethylene)

3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane (HCFC-225ca)

1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HCFC-225cb)

1,1,1,2,3,4,4,5,5-decafluoropentane (HFC 43-10mee)

difluoromethane (HFC-32)

ethylfluoride (HFC-161)

1,1,1,3,3,3-hexafluoropropane (HFC-236fa)

1,1,2,2,3-pentafluoropropane (HFC-245ca)

1,1,2,3,3-pentafluoropropane (HFC-245ea)

1,1,1,2,3-pentafluoropropane (HFC-245eb)

1,1,1,3,3-pentafluoropropane (HFC-245fa)

1,1,1,2,3,3-hexafluoropropane (HFC-236ea)

1,1,1,3,3-pentafluorobutane (HFC-365mfc)

chlorofluoromethane (HCFC-31)

1 chloro-1-fluoroethane (HCFC-151a)

1,2-dichloro-1,1,2-trifluoroethane (HCFC-123a)

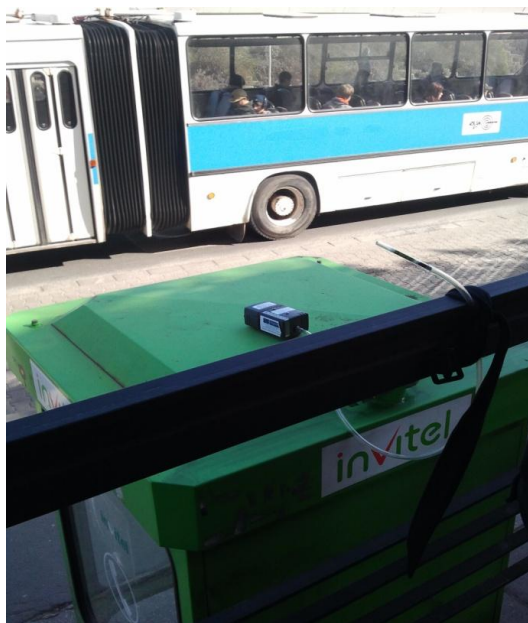
1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-methoxy-butane (C4F9OCH3 or HFE-7100)

2-(difluoromethoxymethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane
(CF3)2CFCHF2OCH3)

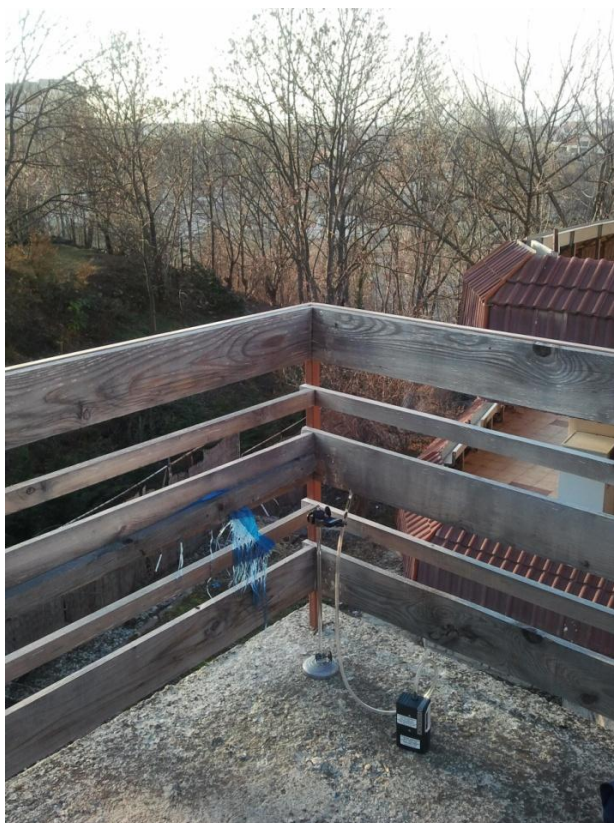
1-ethoxy-1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutane (C4F9OC2H5 or HFE-7200)

2-(ethoxydifluoromethyl)-1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane
((CF₃)₂CFCH₂OC₂H₅)
methyl acetate, 1,1,1,2,2,3,3-heptafluoro-3-methoxy-propane (n-C₃F₇OCH₃,
HFE-7000),
3-ethoxy-1,1,1,2,3,4,4,5,5,6,6,6-dodecafluoro-2-(trifluoromethyl) hexane (HFE-
7500),
1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane (HFC 227ea), methyl formate (HCOOCH₃), (1)
1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-decafluoro-3-methoxy-4-trifluoromethyl-pentane (HFE-7300)
propylene carbonate
dimethyl carbonate

II. melléklet- Mintavételi helyszínek



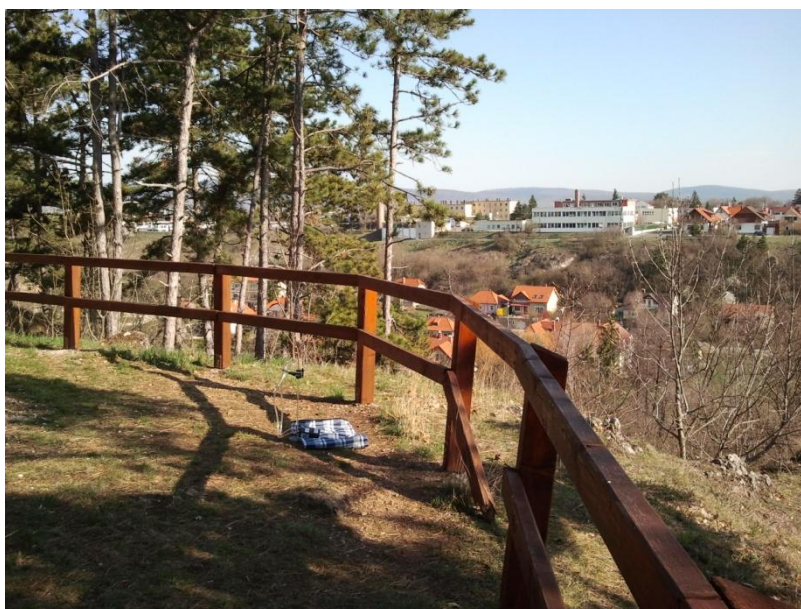
23. ábra Cserhát lakótelep előtti mintavételi pont



24. ábra Csutorás utca 3. szám alatti mintavételi pont



25. ábra Avar utca végén lévő mintavételi pont



26. ábra Mintavételi pont a Gulya-dombon



27. ábra Cholnoky lakótelepen lévő mintavételi pont

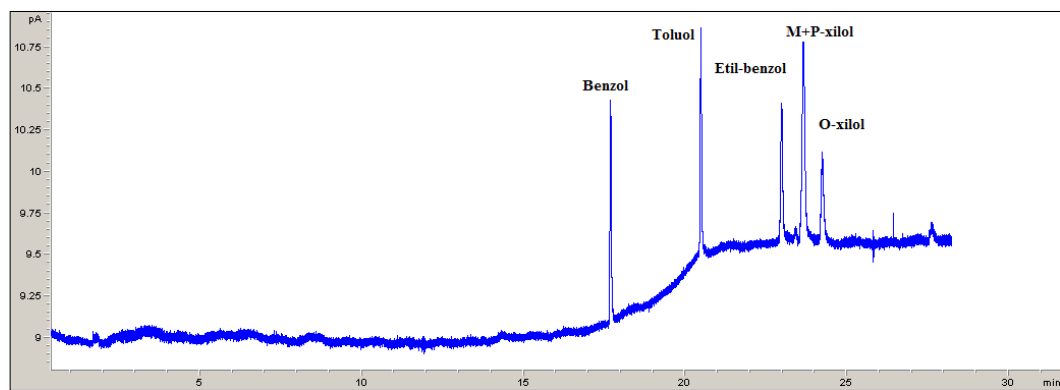


28. ábra Hotel Veszprém előtti mintavételi pont

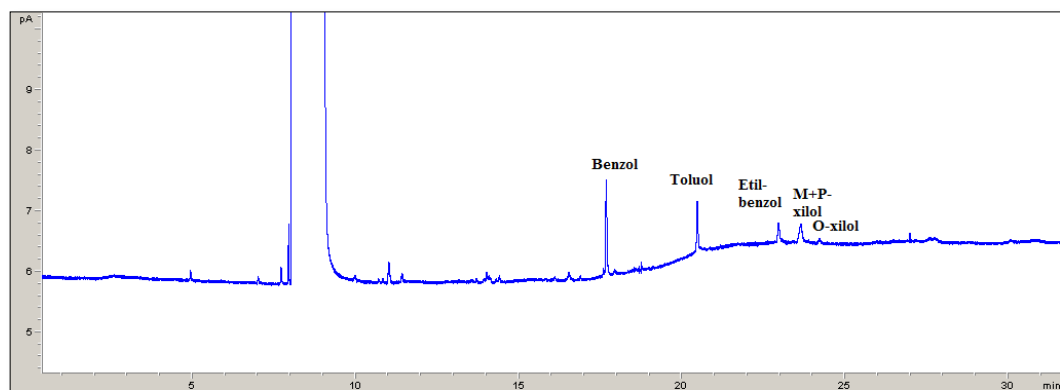


29. ábra Csermák lépcső tetején lévő mintavételi pont

III. melléklet- A gázkromatográfiás mérés során kapott kromatogramok



30. ábra A kalibráló gáz analízise során kapott kromatogram



31. ábra GD1_1 minta analízise során kapott kromatogram

IV. melléklet – A ppm átszámítása $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -re

Kalibrálógáz 1 ppm-es benzoltartalmának átszámítása normál állapotú koncentrációra:

Normál állapot: $p_0 = 760 \text{ Hgmm}$, $T_0 = 273,15 \text{ K}$, $V_0 = ?$

1 ppm benzol = $1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$ benzol 1 cm^3 gázban

Mérési körülmények: $p_1 = 750,3 \text{ Hgmm}$, $T_1 = 290,6 \text{ K}$, $V_1 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$

. egyenlet alapján:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \quad (\text{M.1})$$

$$\frac{760 \text{ Hgmm} \cdot V_0}{273,15 \text{ K}} = \frac{750,3 \text{ Hgmm} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3}{290,6 \text{ K}}$$

$$V_{0,B} = \frac{750,3 \text{ Hgmm} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot 273,15 \text{ K}}{290,6 \text{ K} \cdot 760 \text{ Hgmm}}$$

$$\underline{V_{0,B} = 9,279 \cdot 10^{-7} \text{ Ncm}^3}$$

Ezen számolás alapján a kalibrálógáz BTEX összetétele:

6. táblázat A kalibrálógáz BTEX tartalma és a hozzá tartozó csúcsterületek

Komponens neve	Komponens térfogata 1 Ncm^3 gázban: (Ncm^3)	Csúcsterület	Retenció idő (min)
Benzol	$9,2795 \cdot 10^{-7}$	4,13832	17,689
Toluol	$9,2795 \cdot 10^{-7}$	4,02411	20,482
Etil-benzol	$9,2795 \cdot 10^{-7}$	3,962635	22,966
M+p-xilol	$1,8559 \cdot 10^{-6}$	6,23552	23,639
O-xilol	$9,2795 \cdot 10^{-7}$	2,5893	24,217

A kalibráló gáz mérése során az egyes komponensekhez kapott retenció idők alapján, a minta komponensekhez tartozó retenció időkből meghatározhatjuk, hogy a mintánkban milyen komponens van jelen. A kapott csúcsterületek a kalibráló gáz komponenseihez tartozó csúcsterületekkel aránypárba rendezhetők. A mérések során a néhány tizedes percnyi ($\pm 0,0005 \text{ min}$) eltérések adódtak az azonos komponensek közt, ezek a különbségek elhanyagolható mértékűek, mérési hibahatáron belüliek.

BA2_1 mintára kapott csúcsok az alábbi táblázatban láthatóak.

7. táblázat BA2_1 mintában lévő komponensek

Komponens neve	Csúcsterület	Retenció idő: (min)
Benzol	0,744	17,706
Toluol	0,3317	20,505
Etil-benzol	0,76279	22,966
M+p-xilol	0,45026	23,668

A BA2_1 minta benzoltartalmának számítása:

Kalibrálógáz: $V_{\text{kal,benzol}} = 0,92795 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3$ 1 cm^3 gázban, vagyis 0,92795 ppm-es a kalibrálógáz, amelyhez az 4,13832 csúcsterület tartozik.

BA2_1 minta: A benzoltartalmát nem ismerjük, de az ehhez tartozó csúcsterület 0,744.

Arányba állítva a kettő gázt, megkapjuk a minta benzoltartalmát.

$$\frac{\text{Peak area}_{\text{minta,benzol}}}{\text{Peak area}_{\text{kal,gáz,benzol}}} = \frac{V_{\text{BA2_1,benzol}}}{V_{\text{kal,benzol}}} \quad (\text{M.2})$$

$$\frac{0,744}{4,13832} = \frac{V_{\text{BA2_1,benzol}}}{0,92795 \cdot 10^{-6}}$$

$$\underline{V_{\text{BA2_1,benzol}} = 1,668 \cdot 10^{-7} \text{ Ncm}^3}$$

Az ideális gáztörvény felhasználásával az alábbi összefüggést kapjuk a minta benzoltartalmának (Ncm^3) mólra történő átszámítására.

22,4 dm^3 normálállapotú gáz 1 molnyi anyagot tartalmaz. Ismerve a minta benzoltartalmának normálállapotú térfogatát, meghatározható a minta benzoltartalma mólban ($n_{1\mu\text{L},\text{minta,benzol}}$).

$$\frac{n_{1\mu\text{L},\text{minta,benzol}}}{V_{\text{BA2_1,benzol}}} = \frac{1 \text{ mol}}{22,4 \text{ dm}^3} \quad (\text{M.3})$$

$$n_{1\mu\text{L},\text{minta,benzol}} = \frac{1 \text{ mol}}{22,4 \text{ dm}^3} \cdot 1,668 \cdot 10^{-10} \text{ Ndm}^3$$

$$\underline{n_{1\mu\text{L},\text{minta,benzol}} = 7,44643 \cdot 10^{-12} \text{ mol}}$$

A benzol moláris tömegének ismeretében ($M_{\text{benzol}} = 78,1118 \text{ g/mol}$), meghatározható a tömege. Az itt kapott tömeg a beinjektált minta (1 μL) benzoltartalmának a tömegét adja meg.

$$m_{BA2_1_benzol_1\mu L} = M_{benzol} * n_{1\mu L, minta, benzol} \quad (M.4)$$

$$m_{BA2_1_benzol_1\mu L} = 78,1118 \text{ g/mol} * 7,44643 * 10^{-12} \text{ mol}$$

$$\underline{m_{BA2_1_benzol_1\mu L} = 5,8165 * 10^{-10} \text{ g} (=5,8165 * 10^{-4} \mu\text{g})}$$

Az eredeti minta teljes benzoltartalmának meghatározásához ismerni kell a hozzáadott szén-diszulfid térfogatát. Ennek meghatározása a mérés során analitikai mérlegen történő tömegméréssel történt.

Üres kűvetta tömege = 5,4661 g

Kűvetta szénnel = 5,8790 g

Kűvetta szénnel+CS₂-dal: 8,4291 g

$\rho_{CS_2} = 1,266 \text{ g/cm}^3$

Szén-diszulfid tömege, $m_{CS_2} = (\text{kűvetta szénnel} + \text{CS}_2\text{-dal}) - (\text{kűvetta szénnel})$

$m_{CS_2} = 8,4291 \text{ g} - 5,8790 \text{ g} = 2,5501 \text{ g}$

$$\underline{V_{CS_2} = m_{cs_2} / \rho_{CS_2} = 2,5501 \text{ g} / 1,266 \text{ g/cm}^3 = 2,014297 \text{ cm}^3 (=2,014297 * 10^3 \mu\text{L})}$$

$$\text{Térfogathányados} = V_{minta} / V_{injektált} = 2,014297 * 10^3 \mu\text{L} / 1 \mu\text{L} = 2014,297$$

2014,297-szor akkora tömegű benzol volt a teljes mintában, mint amit mértünk.

$$m_{benzol, teljes, BA2_1} = \text{térfogathányados} * m_{BA2_1_benzol_1\mu L} \quad (M.5)$$

$$m_{benzol, teljes, BA2_1} = 2014,297 * 5,8165 * 10^{-4} \mu\text{g}$$

$$\underline{m_{benzol, teljes, BA2_1} = 1,1716 \mu\text{g}}$$

A mérés során a 106-os számú szivattyút használtuk, a szivattyú szívóteljesítménye ($V_{\text{térfogatáram}} = 2,126666667 \text{ Ndm}^3/\text{min}$) és a mérési idő (180 perc) ismeretében meghatározható az átszívott térfogat, amelyben az alábbi tömegű benzol volt:

$$V_{\text{átszívott}} = t_{\text{mérési}} * V_{\text{térfogatáram}} \quad (M.6)$$

$$V_{\text{átszívott}} = 180 \text{ min} * 2,126666667 \text{ Ndm}^3/\text{min}$$

$$V_{\text{átszívott}} = 382,80 \text{ Ndm}^3 = 0,3828 \text{ Nm}^3$$

$$C_{BA2_1, benzol} = m_{benzol, teljes, BA2_1} / V_{\text{átszívott}} \quad (M.7)$$

$$C_{BA2_1, benzol} = 1,1716 \mu\text{g} / 0,3828 \text{ Nm}^3$$

$$\underline{C_{BA2_1, benzol} = 3,06 \mu\text{g/Nm}^3}$$

A kiszámolt benzolkoncentráció összevethető az OLM veszprémi mérőhelye által mért értékekkel, amely szintén $\mu\text{g/Nm}^3$ -ben van meghatározva. A dolgozatom készítése idején az OLM BTEX mérő hálózata nem üzemelt, így nem tudtam az eredményeimet összehasonlítani vele.

V. melléklet- A mért eredmények

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
F1_1	2012.01.26 14:00-15:00	Hotel Veszprémmel szemben	6,2	13,2	<0,01	<0,01	<0,01
F2_1	2012.01.26 15:00-16:00	Hotel Veszprémmel szemben	13,8	19,8	<0,01	<0,01	<0,01
F3_1	2012.01.27 8:00-9:00	Hotel Veszprémmel szemben	7,6	18,0	<0,01	<0,01	<0,01
F4_1	2012.01.27 9:00-10:00	Hotel Veszprémmel szemben	9,3	20,1	<0,01	<0,01	<0,01
F5_1	2012.01.27 10:00-11:00	Hotel Veszprémmel szemben	10,7	17,6	<0,01	<0,01	<0,01
F6_1	2012.01.27 11:00-12:00	Hotel Veszprémmel szemben	11,0	12,7	<0,01	<0,01	<0,01

8. táblázat F-jelű minták (Hotel Veszprémmel szemben vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
BA1_1	2012.03.05 13:38- 17:02	Cserhát lakótelep	2,5	2,9	6,03	<0,01	<0,01
BA2_1	2012.03.05 13:20- 16:20	Csutorás utca 3.	3,06	1,7	4,5	3,3	<0,01
BA3_1	2012.03.07 13:05- 16:25	Csermák lépcső teteje	1,2	3,0	6,06	4,3	<0,01
BA4_1	2012.03.05 16:41- 20:45	Csutorás utca 3.	6,7	5,23	3,06	4,4	<0,01
BA5_1	2012.03.06 13:40-16:51	Csutorás utca 3.	2,1	2,0	3,5	2,6	<0,01

9. táblázat A BA-jelű minták (3 különböző helyen vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
CH1_1	2012.03.22 9:00- 13:00	Avar utca vége	17,8	5,7	<0,01	<0,01	<0,01
CH2_1	2012.03.22 9:00- 10:00	Avar utca vége	8,0	1,4	<0,01	<0,01	<0,01
CH3_1	2012.03.22 10:00- 10:59	Avar utca vége	10,3	1,8	<0,01	<0,01	<0,01
CH4_1	2012.03.22 11:00- 11:59	Avar utca vége	8,4	1,3	<0,01	<0,01	<0,01
CH5_1	2012.03.22 12:00- 13:00	Avar utca vége	9,4	1,1	<0,01	<0,01	<0,01
CH6_1	2012.03.29 8:20-12:24	Cholnoky ltp.-LIDL	7,9	11,5	12,4	<0,01	<0,01
CH7_1	2012.03.29 8:20-9:19	Cholnoky ltp.-LIDL	8,9	15,7	15,3	<0,01	<0,01
CH8_1	2012.03.29 9:20-10:19	Cholnoky ltp.-LIDL	6,6	11,8	9,6	<0,01	<0,01
CH9_1	2012.03.29 10:20-11:20	Cholnoky ltp.-LIDL	5,6	9,2	8,5	<0,01	<0,01
CH10_1	2012.03.29 11:21-12:19	Cholnoky ltp.-LIDL	7,6	8,3	<0,01	<0,01	<0,01
CH11_1	2012.03.28 11:30- 15:31	Hotel Magister	4,5	6,6	3,0	<0,01	<0,01
CH12_1	2012.03.23 8:20- 17:10	Egyetem C épület	10,1	3,5	3,8	10,1	<0,01
C430 1	2012.03.27 8:00-13:00	Egyetem C épület	7,1	8,8	1,8	14,6	<0,01
C430 2	2012.03.26 9:30-13:30	Egyetem C épület	7,8	7,3	2,0	9,6	<0,01

10. táblázat A CH-jelű minták (az Avar utca végén, a Cholnoky- lakótelepen (LIDL áruházzal szemben, illetve még 2 helyen vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
GD1_1	2012.04.03 9:12-10:14	Gulya domb	7,6	2,7	7,6	7,4	1,1
GD2_1	2012.04.03 10:15-11:16	Gulya domb	6,4	2,7	7,9	6,7	<0,01
GD3_1	2012.04.03 11:17-12:16	Gulya domb	6,8	1,9	5,8	4,3	<0,01
GD4_1	2012.04.03 12:18-12:20	Gulya domb	6,4	2,2	6,9	6,9	<0,01
GD5_1	2012.04.03 9:12-13:17	Gulya domb	7,04	2,03	6,5	5,9	1,01

11. táblázat A GD-jelű minták (Gulya dombon vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
MA1_1	2012.02.08 14:00-18:00	Hotel Magister előtt	4,5	8,2	3,0	1,57	<0,01
MA2_1	2012.02.09 7:30- 13:50	Hotel Magister előtt	10,4	10,5	5,6	<0,01	<0,01

12. táblázat Az MA-jelű minták (Hotel Magister előtt vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
HT1_1	2012.04.17 12:13-14:16	Hotel Veszprém	12,0	5,8	9,0	2,9	<0,01
HT2_1	2012.04.17 12:13-13:14	Hotel Veszprém	11,2	5,4	8,5	2,6	<0,01
HT3_1	2012.04.17 13:16-14:15	Hotel Veszprém	11,4	4,0	6,4	2,1	<0,01
HT4_1	2012.04.17 14:15-15:15	Hotel Veszprém	11,4	6,5	10,3	3,6	<0,01

13. táblázat A HT-jelű minták (Hotel Veszprémmel szemben vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
KO1_1	2012.03.26 9:42-15:19	Kossuth Lajos Általános Isk.	9,3	6,6	3,6	4,8	<0,01
KO2_1	2012.03.26 15:21- 2012.03.27 8:24	Kossuth Lajos Általános Isk.	5,1	4,7	2,1	5,9	1,5
KO3_1	2012.03.27 8:24-16:17	Kossuth Lajos Általános Isk.	7,8	10,9	6,99	15,9	<0,01
KO4_1	2012.03.27 16:16- 2012.03.28 8:18	Kossuth Lajos Általános Isk.	3,1	9,8	10,2	9,3	<0,01
KO5_1	2012.03.28 8:18-16:15	Kossuth Lajos Általános Isk.	8,7	7,5	8,8	3,4	<0,01

14. táblázat A KO-jelű minták (Kossuth Lajos Általános Iskola udvarában vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
ML1_1	2012.04.11 8:20- 12:20	MOL kút mellett	9,0	3,9	5,8	2,0	<0,01
ML2_1	2012.04.11 8:20-9:20	MOL kút mellett	8,6	3,5	5,5	2,04	<0,01
ML3_1	2012.04.11 9:20-10:20	MOL kút mellett	9,5	5,4	7,8	2,5	<0,01
ML4_1	2012.04.11 10:20-11:20	MOL kút mellett	7,8	2,7	4,4	1,4	<0,01
ML5_1	2012.04.11 11:20-12:20	MOL kút mellett	7,9	3,4	5,3	1,8	<0,01

15. táblázat Az ML-jelű minták (MOL kút mellett vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
C2_1	2011.09.15 14:00-15:00	Hotel Veszprém	12,2	10,7	6,8	5,3	<0,01
C3_1	2011.09.15 15:00-16:00	Hotel Veszprém	12,5	15,2	7,4	10,4	<0,01
C4_1	2011.09.15 16:00-17:00	Hotel Veszprém	16,3	17,1	7,7	8,9	<0,01
C5_1	2011.09.15 17:00-18:00	Hotel Veszprém	14,1	12,0	7,02	11,6	<0,01

16. táblázat A C-jelű minták (Hotel Veszprém előtt vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Légköri koncentráció (µg/Nm ³)				
			Benzol	Toluol	Etil-benzol	M+P-xilol	O-xilol
B6_1	2011.08.05. 7:25- 14:25	Bóbita Óvoda	4,2	4,6	1,5	4,6	<0,01
B7_1	2011.08.07 14:25- 2011.08.08 7:17	Bóbita Óvoda	1,4	1,2	<0,01	1,3	<0,01
B9_1	2011.08.08 16:19- 2011.08.09. 6:51	Bóbita Óvoda	1,1	1,8	4,6	1,2	1,4
B10_1	2011.08.09. 6:53- 15:02	Bóbita Óvoda	7,6	8,4	4,4	5,4	<0,01
B11_1	2011.08.09. 15:07- 2011.08.10. 07:08	Bóbita Óvoda	1,3	1,5	0,4	1,5	<0,01
B12_1	2011.08.11 7:30- 16:11	Bóbita Óvoda	3	3,4	0,8	1,6	<0,01
B14_1	2011.08.11 16:15- 2011.08.12. 9:30	Bóbita Óvoda	0,9	0,7	0,3	0,3	<0,01

17. táblázat A B-jelű minták (Bóbita Óvoda előtt vett minták)

VI. melléklet- A tényleges mérési idők és a mintavétel során használt szivattyú sorszáma minden minta esetében

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
F1_1	2012.01.26 14:00-15:00	Hotel Veszprémmel szemben	48	106
F2_1	2012.01.26 15:00-16:00	Hotel Veszprémmel szemben	50	107
F3_1	2012.01.27 8:00-9:00	Hotel Veszprémmel szemben	55	107
F4_1	2012.01.27 9:00-10:00	Hotel Veszprémmel szemben	58	107
F5_1	2012.01.27 10:00-11:00	Hotel Veszprémmel szemben	56	107
F6_1	2012.01.27 11:00-12:00	Hotel Veszprémmel szemben	60	106

18. táblázat *F-jelű minták (Hotel Veszprémmel szemben vett minták)*

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
BA1_1	2012.03.05 13:38- 17:02	Cserhát lakótelep	163	107
BA2_1	2012.03.05 13:20- 16:20	Csutorás utca 3.	180	106
BA3_1	2012.03.07 13:05- 16:25	Csermák lépcső teteje	160	107
BA4_1	2012.03.05 16:41- 20:45	Csutorás utca 3.	212	106
BA5_1	2012.03.06 13:40-16:51	Csutorás utca 3.	172	106

19. táblázat *A BA-jelű minták (3 különböző helyen vett minták)*

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
CH1_1	2012.03.22 9:00- 13:00	Avar utca vége	228	106
CH2_1	2012.03.22 9:00- 10:00	Avar utca vége	48	107
CH3_1	2012.03.22 10:00- 10:59	Avar utca vége	45	107
CH4_1	2012.03.22 11:00- 11:59	Avar utca vége	48	107
CH5_1	2012.03.22 12:00- 13:00	Avar utca vége	49	107
CH6_1	2012.03.29 8:20-12:24	Cholnoky ltp.- LIDL	195	107
CH7_1	2012.03.29 8:20-9:19	Cholnoky ltp.- LIDL	47	106
CH8_1	2012.03.29 9:20-10:19	Cholnoky ltp.- LIDL	58	106
CH9_1	2012.03.29 10:20-11:20	Cholnoky ltp.- LIDL	60	106
CH10_1	2012.03.29 11:21-12:19	Cholnoky ltp.- LIDL	58	106
CH11_1	2012.03.28 11:30- 15:31	Hotel Magister	200	107
CH12_1	2012.03.23 8:20- 17:10	Egyetem C épület	415	107
C430 1	2012.03.27 8:00-13:00	Egyetem C épület	235	106
C430 2	2012.03.26 9:30-13:30	Egyetem C épület	211	106

20. táblázat A CH-jelű minták (az Avar utca végén, a Cholnoky- lakótelepen (LIDL áruházal szemben) illetve még 2 helyen vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
GD1_1	2012.04.03 9:12-10:14	Gulya domb	53	106
GD2_1	2012.04.03 10:15-11:16	Gulya domb	60	106
GD3_1	2012.04.03 11:17-12:16	Gulya domb	59	106
GD4_1	2012.04.03 12:18-12:20	Gulya domb	62	106
GD5_1	2012.04.03 9:12-13:17	Gulya domb	118	107

21. táblázat A GD-jelű minták (Gulya dombon vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
MA1_1	2012.02.08 14:00-18:00	Hotel Magister előtt	215	107
MA2_1	2012.02.09 7:30- 13:50	Hotel Magister előtt	190	107

22. táblázat Az MA-jelű minták (Hotel Magister előtt vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
HT1_1	2012.04.17 12:13-14:16	Hotel Veszprém	113	106
HT2_1	2012.04.17 12:13-13:14	Hotel Veszprém	48	107
HT3_1	2012.04.17 13:16-14:15	Hotel Veszprém	45	107
HT4_1	2012.04.17 14:15-15:15	Hotel Veszprém	45	107

23. táblázat Az HT-jelű minták (Hotel Veszprémmel szemben vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
KO1_1	2012.03.26 9:42-15:19	Kossuth Lajos Általános Isk.	269	106
KO2_1	2012.03.26 15:21- 2012.03.27 8:24	Kossuth Lajos Általános Isk.	896	107
KO3_1	2012.03.27 8:24-16:17	Kossuth Lajos Általános Isk.	133	106
KO4_1	2012.03.27 16:16- 2012.03.28 8:18	Kossuth Lajos Általános Isk.	128	106
KO5_1	2012.03.28 8:18-16:15	Kossuth Lajos Általános Isk.	270	106

24. táblázat A KO-jelű minták (Kossuth Lajos Általános Iskola udvarában vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
ML1_1	2012.04.11 8:20- 12:20	MOL kút mellett	215	107
ML2_1	2012.04.11 8:20-9:20	MOL kút mellett	48	106
ML3_1	2012.04.11 9:20-10:20	MOL kút mellett	54	106
ML4_1	2012.04.11 10:20-11:20	MOL kút mellett	59	106
ML5_1	2012.04.11 11:20-12:20	MOL kút mellett	60	106

25. táblázat Az ML-jelű minták (MOL kút mellett vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
C2_1	2011.09.15 14:00-15:00	Hotel Veszprém	53	106
C3_1	2011.09.15 15:00-16:00	Hotel Veszprém	55	106
C4_1	2011.09.15 16:00-17:00	Hotel Veszprém	56	106
C5_1	2011.09.15 17:00-18:00	Hotel Veszprém	57	107

26. táblázat A C-jelű minták (Hotel Veszprém előtt vett minták)

Minta kódja	Mintavétel ideje	Mintavétel helyszíne	Mintavétel tényleges ideje (min)	Mintavétel során használt szivattyú
B6_1	2011.08.05. 7:25- 14:25	Bóbita Óvoda	299	106
B7_1	2011.08.07 14:25- 2011.08.08 7:17	Bóbita Óvoda	843	106
B9_1	2011.08.08 16:19- 2011.08.09. 6:51	Bóbita Óvoda	169	106
B10_1	2011.08.09. 6:53- 15:02	Bóbita Óvoda	239	106
B11_1	2011.08.09. 15:07- 2011.08.10. 07:08	Bóbita Óvoda	1088	106
B12_1	2011.08.11 7:30- 16:11	Bóbita Óvoda	291	106
B14_1	2011.08.11 16:15- 2011.08.12. 9:30	Bóbita Óvoda	1041	106

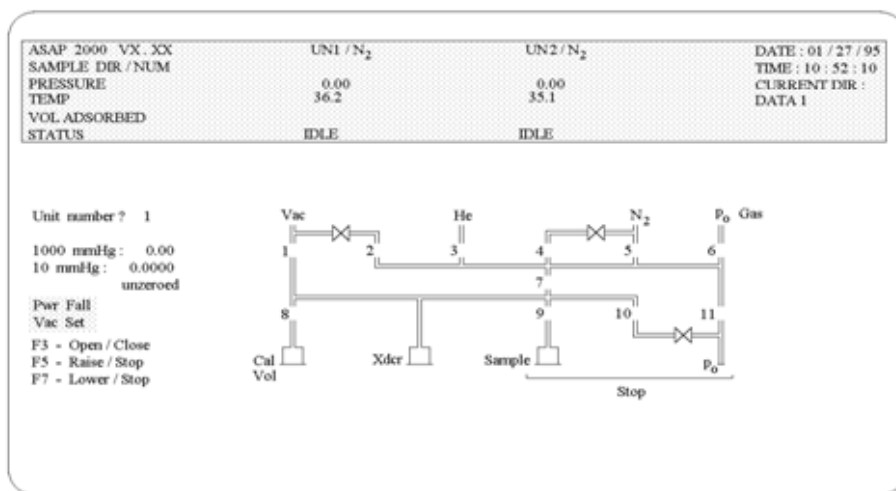
27. táblázat A B-jelű minták (Bóbita Óvoda előtt vett minták)

VII. melléklet- Az adszorbens morfológiai vizsgálata

Az Anasorb CSC adszorbens csőben található új aktív szén, illetve már egy használatban lévő aktív szén morfológiai vizsgálatot kétféle módszerrel végeztem. Egyik módszer a nitrogén adszorpciós mérés, a másik módszer pedig az úgynevezett higanypenetrációs módszer.

Nitrogén adszorpciós vizsgálat

A mintavételre alkalmas Anasorb CSC csőben található még használatlan aktív szén, illetve a már használt aktív szén fajlagos felületét vizsgálatát nitrogén adszorpciós vizsgálattal végeztem, ehhez a Micromeritics által gyártott ASAP 2000 berendezést használtam, a mérést a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén végeztem el. A készülék alkalmas nitrogéngáz adszorpciós és deszorpciós izotermájának felvételére, a fajlagos felület (BET és/vagy Langmuir elmélet alapján), t-eloszlás (Halsey vagy Harkins Jura) és ebből mikropórus-felület- és térfogat meghatározására illetve BJH pórustérfogat és pórusfelület-eloszlás meghatározására. Az ASAP 2000 analízátora két részből tevődik össze, egy minta előkészítő, illetve egy mérő részből.



32. ábra Az ASAP 2000-hez tartozó analízáló rendszer.

A készülék 10m²/g-nál nagyobb fajlagos felületi anyagok vizsgálatára alkalmas. A minta előkészítése szívatás közben lejátszódó hőkezelésből áll, ennek célja a felület megtisztítása, ez a folyamat 1-6 órát vesz igénybe. A hőkezelés után a mintát tartalmazó mintatartót a mérőhelyre fel kell csavarozni, majd ki kell nyitni a hélium és a nitrogénpalack szelepét és ezután elindítani a mérést.

A számoláshoz szükséges egyenletek:

BET-egyenlet

$$\frac{p}{V_{\alpha}*(p_0-p)} = \frac{1}{V_m*C} + \frac{C-1}{V_m*C} * \frac{p}{p_0} \quad (M.8)$$

p= a nitrogén nyomása (Hgmm)

p₀= az adszorptívum egyensúlyi gőznyomása a mérés hőmérsékletén (Hgmm)

V_m= a monomolekuláris borítottsághoz szükséges gáztérfogat (cm³/g)

V_α= az adott p nyomás eléréséig adszorbeált gáztérfogat (cm³/g)

Fajlagos felület kiszámítása:

$$F_{BET} = \frac{f*V_m*N}{V_0*n} \quad (M.9)$$

f: egy adszorbeált molekula felület- szükséglete (cm²)

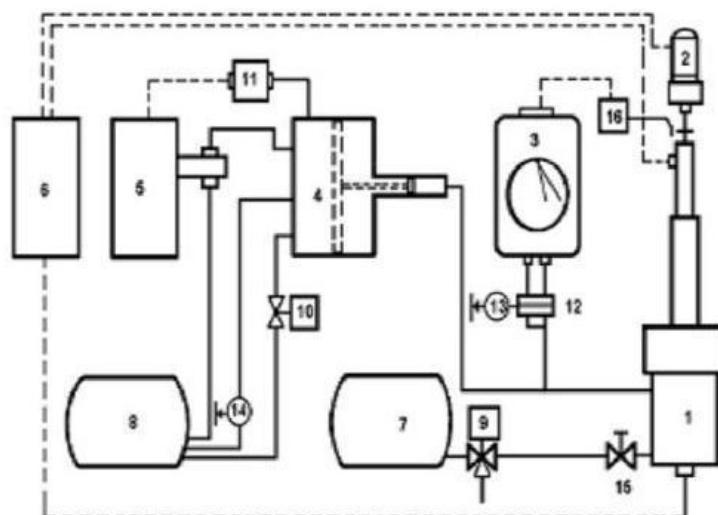
N: az Avogadro szám, 6,023*10²³/mol

V₀: a folyékony adszorptívum mol térfogata a mérés hőmérsékletén (cm³)

n: az átszámítási tényező m²-re

Higanypenetrációs vizsgálat

Ezzel a módszerrel, porozitás és pórusméret-eloszlást tudunk meghatározni. A vizsgálatot CARLO- ERBA- gyártmányú poroziméterrel végeztem. A higanypenetrációs módszer nem nedvesedő folyadékok kapillárisokban való viselkedésén alapul.



33. ábra CARLO-ERBA-gyártmányú poroziméter vázlata

A bemért vizsgálandó anyagot elsőként dilatometerbe helyeztem, majd az előírásnak megfelelően, 0,05- 0,02 torr nyomásig evakuáltam azt, ezután higannyal feltöltöttem és végül a készülék autoklájába helyeztem. A fenti folyamatok elvégzése után a mérést elindítottam. A mérés során a készülék automatikusan regisztrálta egy kördiagramon a nyomás függvényében a - dilatometer kapillárisában bekövetkező- higanyszint-csökkenést. A diagramról leolvastam a különböző nyomás értékekhez tartozó higanyszint-csökkenést, majd a kalibráló görbe segítségével korrigáltam a kapott értékeket, végül elvégeztem a szükséges számolásokat.

A pórustérfogat az alábbi módon számolható:

$$V_p = \frac{h_n * 0,1 * d^2 * \pi}{4G} \quad (M.10)$$

h_n =2000 bar nyomáson mért higanyszint- csökkenés, mm

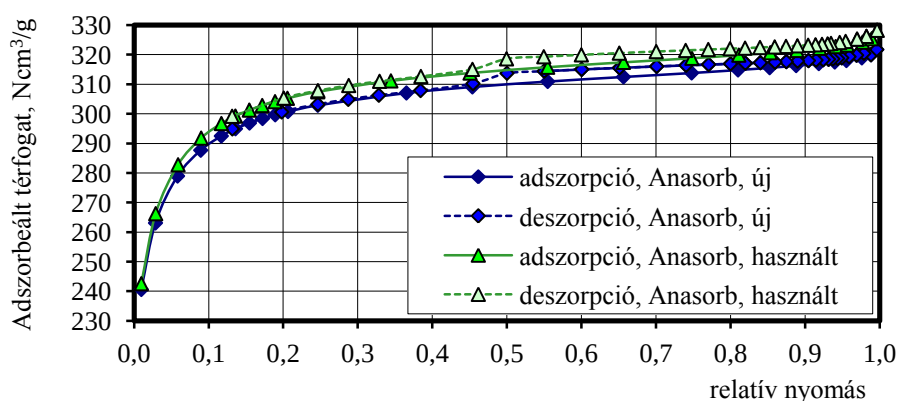
d = a kapilláris átmérője, rendszerint 0,3cm

G = a bemérés, g

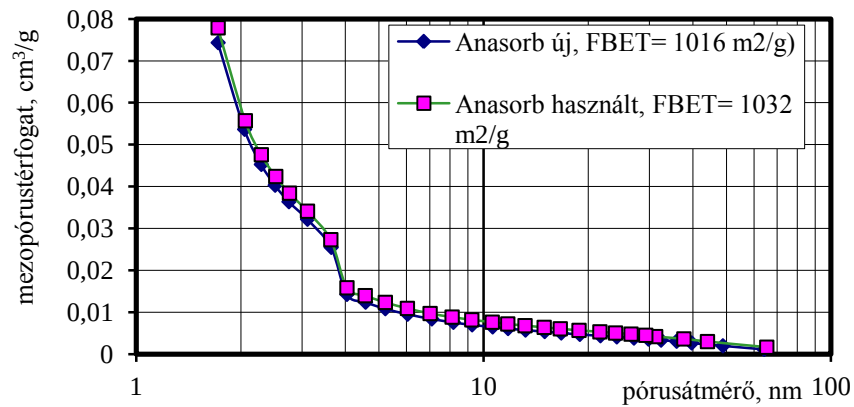
Az adszorbens morfológiai vizsgálatának eredményei

A fent leírt két vizsgálati módszer elvégzése után, majd a kapott eredményekből levezetett számolások megoldása után, megállapítottam, hogy az Anasorb CSC csőben található még használatlan aktív szénre, illetve a használt aktív szénre vonatkozó lényeges információkat. Az új aktív szén nitrogén adszorpciós vizsgálatának eredményei: BET felülete $1016 \text{ m}^2/\text{g}$. Az aktív szén átlagos átmérője: $1,46 \text{ nm}$, mikropórus térfogata: $0,3699 \text{ cm}^3/\text{g}$, BJH felülete: $106,8 \text{ m}^2/\text{g}$. Az előkészítés 160°C -on zajlott, ami során $0,88 \text{ \%}$ -os tömegcsökkenés volt megfigyelhető. Az új aktív szén higanypenetrációs vizsgálatának eredményei: $V = 0,2156 \text{ cm}^3/\text{g}$, felület = $5,82 \text{ m}^2/\text{g}$. A higanypenetrációs vizsgálatot az új minta esetén megismételtem, mert az első mérés során felhasznált aktív szén mennyiségét kevésnek találtam. Az ismételt mérés eredményei: $V = 0,2459 \text{ cm}^3/\text{g}$, felület = $6,03 \text{ m}^2/\text{g}$. A használt aktív szén nitrogén adszorpciós vizsgálatának eredményei: BET felülete $1032 \text{ m}^2/\text{g}$. Az aktív szén átlagos átmérője: $1,47 \text{ nm}$, mikropórus térfogata: $0,3736 \text{ cm}^3/\text{g}$, BJH felülete: $110,8 \text{ m}^2/\text{g}$. Az előkészítés 160°C -on zajlott, ami során $7,8 \text{ \%}$ -os tömegcsökkenés volt megfigyelhető. A használt aktív szén higanypenetrációs vizsgálatának eredményei: $V = 0,2059 \text{ cm}^3/\text{g}$, felület = $5,92 \text{ m}^2/\text{g}$.

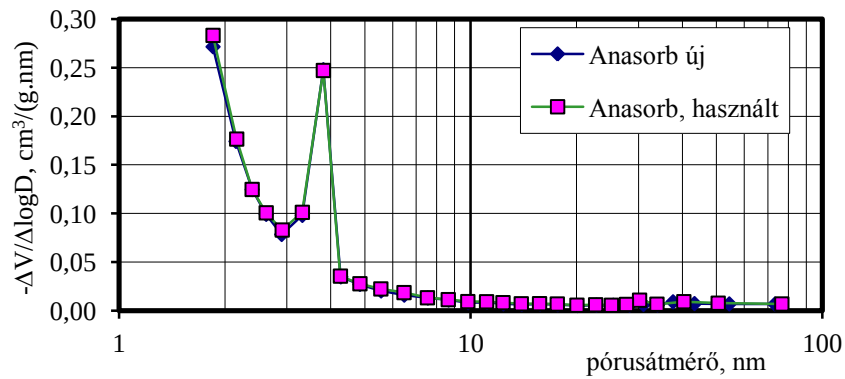
A kapott eredményeket ábrázolva a 34-40. ábrákon mutattam be.



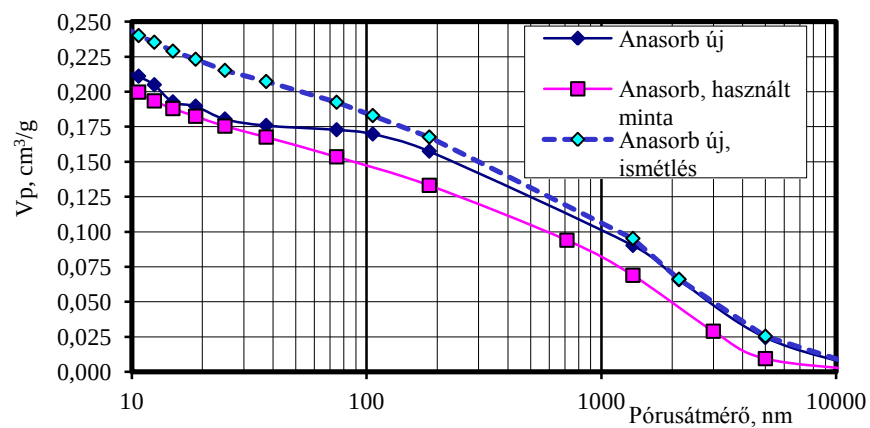
34. ábra Adszorpciós/deszorpciós izotermák



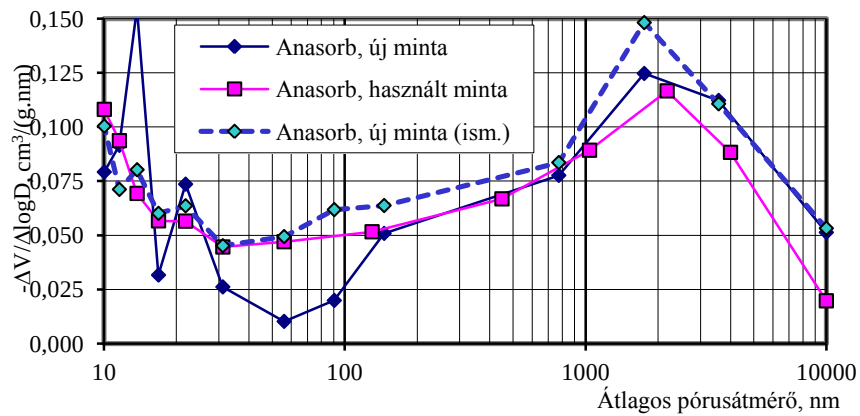
35. ábra A BJH elmélet alapján felrajzolt kumulatív mezopórustérfogat-eloszlás



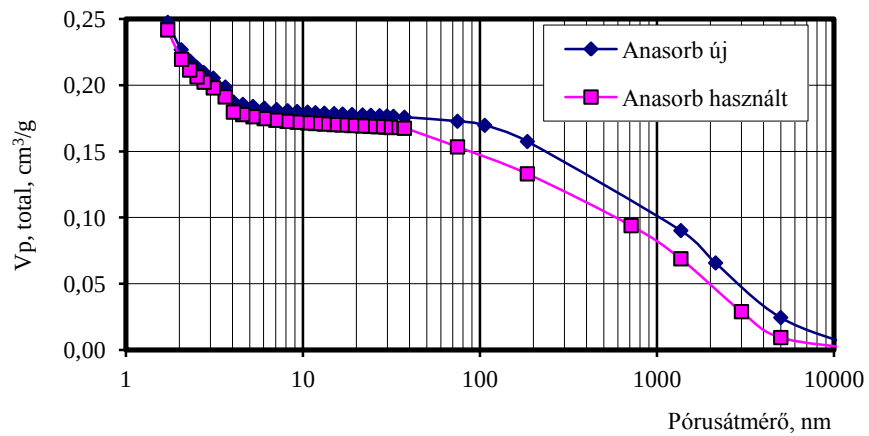
36. ábra A BJH elmélet alapján felrajzolt logaritmikus pórustérfogat-gyakoriság



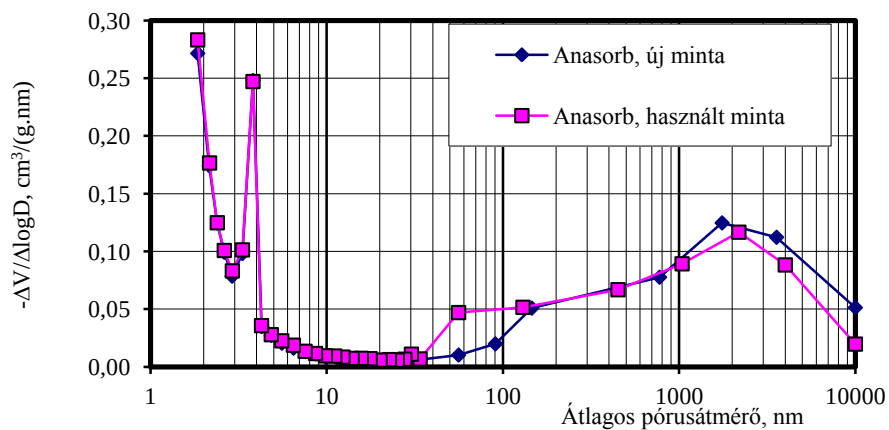
37. ábra Hg-penetráció alapján kapott kummulatív pórustérfogat-eloszlás



38. ábra Logaritmusos pórustérfogat-gyakoriság



39. ábra A két módszer eredményeiből szerkesztett kummulatív összpórustérfogat-eloszlás



40. ábra A két módszer eredményeiből szerkesztett összes pórustérfogat-gyakoriság

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Dr. Kovács Józsefnek, a szakmai támogatásért, a mérések során nyújtott gondos segítségért és a dolgozatom megírása során biztosított koordinátori munkájáért.

Szeretném megköszönni Dr. Yuzhakova Tatianának a GC-FID használata során nyújtott segítséget, valamint Miklós László szaktársamnak, aki a mintavételi helyszíneken segítette a munkámat.

Köszönöm a családomnak a rengeteg türelmet és támogatást, valamint köszönöm szaktársamnak, Piskor Brigittának a sok biztatást, amit a munkám során kaptam tőle.

Mindemellett szeretném köszönetem kifejezni a Környezetmérnöki Intézetnek és a „TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban. Munkánk a PE/2.4.2. Gépjármű gázemisszió és légszennyezési potenciáljának jellemzése alprojekthez tartozik.

Különösen szeretném megköszönni, hogy e projekt keretében beszerzett eszközöket kutatómunkám során használhattam.

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”