



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
AUDI HUNGARIA
JÁRMŰMÉRNÖKI KAR

TDK DOLGOZAT

MŰANYAGHULLADÉKOK ÉGETÉSÉNEK KÖRNYEZETI HATÁSAI

ZSANKÓ PETRA

KÖRNYEZETMÉRNÖK BSC SZAK

KONZULENS: DR. KUTI RAJMUND

EGYETEMI TANÁR

GYŐR, 2022. 04. 13.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	3
2.1. A hulladékprobléma kialakulása.....	3
2.2. A műanyagokról.....	3
2.2.1. Műanyag fogalma.	4
2.2.2. Műanyagok osztályozása	5
2.2.3. Műanyaghulladék mennyisége napjainkban.....	5
2.3. A megfelelő hulladékkezelés fontossága	7
2.4. Háztartási hulladékégetés	9
2.4.1. Műanyag égetés okai	9
2.4.2. Leggyakrabban elégett műanyagfajták a háztartásokban	10
2.4.3. Felszabaduló égésgázok és azok mérgező hatásai	10
3. Vizsgálati anyagok és módszerek	12
3.1. Vizsgálati anyagok.....	12
3.1.1. Poli(vinil-klorid).....	19
3.1.2. Polietilén.....	13
3.1.3. Polisztirol.....	15
3.2. Vizsgálati eszközök, módszerek	15
3.2.1. Dräger X-am® 5600 Multigáz-érzékelő.....	16
3.2.2. UV-VIS spektrofotometria.....	17
3.2.3. Gázkromatográfia	20
3.2.4. A gázok térfogatáramának meghatározása a légszennyező forrásban	23
4. Eredmények kiértékelése	26
4.1. Hordozható gázelemzővel végzett mérések eredményei	26
4.2. Térfogatáram meghatározása.....	28
4.3. Sósavemisszió meghatározása	29
4.4. Felszabaduló sósav tömegárama.....	34
4.5. Illékony szerves anyagok mintavétele	35
4.6. A PE minta égetése során felszabaduló komponensek tömegárama	43
4.7. A PS minta égése során felszabaduló komponensek tömegárama	44
5. Összefoglalás	46
6. Javaslatok.....	47
7. Felhasznált irodalom.....	48

1. Bevezetés

Környezetünk védelme a különböző káros hatásoktól a jelenlegi életünk és mindennapi tevékenységünk egyik legfontosabb feladata. Ezt sokan figyelmen kívül hagyják, mivel a mának élve, nem gondolnak a jövő nemzedékeire.

Ha a levegőt, mint környezeti elemet emelem ki, mint környezetünk és létünk alappillérét, annak szennyezése már globális méretű problémákat öltött, hiszen a világ minden országa érintett a témában valamilyen mértékben. De mit is értünk légszennyezés alatt?

A jelenleg hatályban lévő levegő védelméről szóló 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet 2. §-a szerint légszennyezésnek minősül, a légszennyező anyag kibocsátási határértéket meghaladó mértékű levegőbe jutása. Légszennyező anyag pedig, a levegőben lévő és az emberi egészségre vagy a környezet egészére valószínűsíthetően káros hatást gyakorló anyag. [1]

Korábban egy ország vagy terület levegőjének szennyezettsége az iparágak fejlettségével volt arányos, azonban manapság a valódi szennyezést az autók, repülők, erőművek és különböző emberi tevékenységek jelentik, beleértve a fosszilis tüzelőanyagok, illetve a hulladékok illegális égetését.

Témaválasztásom aktualitását adja, hogy az előzőekben felsoroltak közül a szennyezés fő forrásának a háztartások fűtése és az egyéb lakossági égetés tekinthető. A közismert szilárd tüzelőanyagok (fa és a szén) égetésén kívül a legnagyobb veszélyt az jelenti, hogy széles körben égetnek a háztartásokban műanyagot és egyéb hulladékokat. [2] Az emberek többsége kályhában és kazánban égeti el a háztartásban keletkező műanyag hulladékokat. Feltételezhetően azt gondolva, kőolaj származékból állnak, így magas a fűtőértékük, vagy csak egyszerűen lustaságból nem viszik el a szelektív hulladék tárolóba. [3]

Az elmúlt években az illegális hulladékégetés népszerűsége különösen aggasztóvá vált számomra. Falusi lakosként a saját szememmel látom, főként a téli hónapok alatt, a kéményekből ömlő tömördek mennyiségű kormozó füstöt és érzékelem az azt kísérő szaghatást, amelynek egészségkárosító hatása és környezeti ökoszisztémára gyakorolt következményei elkerülik a kibocsátók figyelmét, arról nem is beszélve, hogy jogszabálysértést követnek el. Magyarországon tilos a hulladékok háztartási égetése a levegő védelméről szóló 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet 27. §-ában foglaltak alapján. [4]

Témaválasztásomat indokolja, a mindennapi élet során felhasznált rendkívül sokféle műanyag. Gondoljunk csak a csomagoló anyagokra, építőanyagokra, használati és berendezési tárgyakra.

Személyes érvek is vezéreltek a kutatási témám kiválasztása során, hiszen a környezetvédelem és a környezettudatosság egészen kisgyermek korom óta fontos szerepet játszik az életemben. Leendő környezetmérnökként pedig feladatomnak is tekintem a környezettudatos életmód népszerűsítését.

Kutatómunkám célkitűzése tisztázni az illegális hulladékégetés fogalmát, kiváltó okait, valamint humán- és környezet-egészségügyi kockázatait. Ezen belül bemutatni a háztartásokban keletkező hulladékok közül a leggyakrabban elégetett anyagokat. A megfelelő eredmények elérése érdekében különböző kutatási módszereket alkalmazva, összegyűjtöttem a témához kapcsolódó szakirodalmi forrásokat, valamint laboratóriumi körülmények között égési vizsgálatokat végeztem több műanyagfajtán, megvizsgálva az elégetésük során keletkező füstgáz komponenseket, amely alapján elvégeztem az adatok kiértékelését.

Vizsgálati eredményeim közlésével további célom a szemléletformálás és mindenekelőtt rávilágítani ennek a tevékenységnek egészség és környezetkárosító hatásaira, hiszen a környezeti elemek hatással vannak egymásra, így nem csak a levegőt, mint összetevőt, hanem a talajt, az elővilágot, a vizet és a tájat is szintúgy veszélyeztetni. Emellett kutatásommal hozzá szeretnék járulni a tény elismeréséhez, hogy a műanyag hulladékok eltüzelése sokkal több kárt okoz, mint amennyi hasznot hoz.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A hulladékprobléma kialakulása

A hulladék egyidős az élettel. Minden élőlény termel hulladékot élete során, és maga is „hulladékká” válik, amikor elpusztul. Megállapítható, hogy a mindennapi élet egyik legáltalánosabb kísérő jelensége.

Általános értelemben hulladéknak tekinthető az a bármely halmazállapotú, önállóan vagy hordozó közeggel megjelenő anyag és energia, ami az ember mindennapi életéből, termelő, szolgáltató vagy fogyasztó tevékenységéből ered. Tulajdonosa sem felhasználni, sem értékesíteni nem tudja, ezért átalakítással vagy anélkül történő, a környezetre ártalmatlan elhelyezéséről átmenetileg vagy véglegesen gondoskodni kell. [5]

A természetben keletkező hulladékok nyersanyagként szolgálnak más élő szervezetek számára, és részévé válnak az anyagok természetes körforgásának az életközösségek táplálékláncában. Tehát a természet nem hoz létre semmi olyat, amelyhez nem tartana úgymond készenlétben enzimet vagy mikroorganizmust, amely a terméket képes elbontani és visszajuttatni a körforgásba. [6]

Az emberi civilizáció rohamos fejlődésének "eredménye" a hulladék összetétel megváltozása. Egyre több új, „természetidegen”, szintetikus anyag került előállításra pl. műanyagok, amely visszajuttatva a természetbe, komoly problémát okoz, mert a természeti körfolyamatokba nem tud bekapcsolódni, így fokozottan terheli a környezetet. [7]

2.2. A műanyagokról

Az emberiség népességének növekedése felgyorsult. Ennek oka abban keresendő, hogy a tudomány olyan fokú fejlődésre tett szert, hogy számos betegség gyógyíthatóvá vált, az élelmiszerforrások mennyiségét növelte a mezőgazdaság fejlődése, a gazdasági fellendülés és a tudományos-technikai fejlődés. Az embert elragadta az előállítás és a termelés öröme, melynek következményeként megjelentek a kényelmi árucikkek és szolgáltatások. [6]

A II. világháború után megjelentek a műanyagok, melyek ma már az élet minden területén megtalálható szerkezeti anyagok. Amennyiben le kellene mondani róla, sok kellemetlenség érné az emberiséget. Alkalmazásuk szinte természetes, sok esetben nem is nyilvánvaló jelenlétük, hogy egy berendezés jelentős részben abból áll. [8]

A XX. század második felében kialakuló fogyasztói társadalom és az önkiszolgáló kereskedelem következtében drasztikusan megnőtt a műanyagok, főként a műanyag alapú csomagolóanyagok felhasználása, ami már nem csak az áru védelmi, hanem reklámfunkcióját is szolgálta. [9]

A csomagolás, amely védelmi funkcióval szolgál, a tartósítás szerves részét képezi, hiszen az élet minősége jelentősen romlana nélküle. Ezt a kijelentést messzemenően alátámasztja az a tény,

hogy a fejlődő országokban megfelelő csomagolás hiányában az élelmiszereknek kb. 50%-a megromlik. A fejlett ipari országokban a tönkrement élelmiszer mennyisége csupán 1%. A csomagolás tehát egy szükségszerűség, amelyről szinte lehetetlen lemondani. [8]

Azonban a reklám gyakran olyan termék elterjedését szolgálja, amely fölösleges, mindezzel presztízs fogyasztást generál, hiszen az emberek használható állapotban dobják ki és cserélik újra használati tárgyaikat, ezzel serkentve a csomagolási hulladékok mennyiségét. Nem is beszélve arról, hogy a mai társadalomra különösen jellemző a „vedd meg, ha használt pedig dobd el” szemlélet. [10]

2.2.1. Műanyag fogalma

Számos meghatározás létezik a műanyag fogalmának értelmezésére.

A legelterjedtebb definíció szerint, műanyagok azok a makromolekulás anyagok, melyeket mesterségesen állítottak elő, vagy valamilyen természetes eredetű makromolekula jelentős átalakításával hoztak létre. A műanyag meghatározás a magyar nyelvben jól tükrözi azt, hogy azokat más anyagok pótlása, helyettesítése érdekében állítanak elő. [11]

Tehát a műanyagok makromolekulás anyagok, melyek olyan óriásmolekulák (makromolekulák), melyek szerkezetében azonos vagy különböző atomcsoportok (monomerek) ismétlődnek. Ezen építőelemek ismétlődő egységek, amelyek összegképletüket tekintve megegyezhetnek a polimerizáció kiindulási anyagával, a monomerekkel, szerkezetük azonban gyakorlatilag soha nem azonos. (1. ábra) [8]



1. ábra: A polietilén kiindulási monomerje [8]

A makromolekulás anyagokon belül a műanyagok, a polimereknek nevezett anyagok részét alkotják. A polimer elnevezés görög eredetű, a poli (sok) és a meros (rész) szavakból eredeztethető. Polimer alatt általában a makromolekulák összessége értendő. A polimer és makromolekula fogalma között nagy az átfedés, hiszen a „polimer molekula” kifejezés egyetlen makromolekulára vonatkozik. A „polimer”, mint gyűjtőfogalom magába foglalja az összes nagy molekulatömegű vegyületet, beleértve a természetes polimereket (fehérje, cellulóz, gyanták stb.), elasztomereket (természetes kaucsuk, poliizoprén stb.), műanyagokat (PE, PP, PVC) és a térhálós gyantákat (epoxi, poliészter, fenoplaszt stb.). [8]

A polimer és a műanyag kifejezéseket gyakran szinonimaként használják, a szakirodalom nem is mindig tesz különbséget a két fogalom között. A különbség leginkább a polimerizációs eljárásban előállított polimer és a felhasznált anyag összetétele, szerkezete és tulajdonságai közötti eltérés

alapján érzékeltethető. A polimerizáció eredménye egy meghatározott móltömegű és kémiai összetételű anyag. Az így létrejött anyagot ilyen formában nem használják fel. Ahhoz, hogy felhasználható legyen, különféle segéd- és adalékanyagokat (pl.: töltő- és erősítő- ill. vázanyagok, oldószerek, lágyítók, égésgátlók, színezékek, stabilizátorok stb.) adagolnak az előállításának utolsó lépéseként. A polimerhez adott egyéb anyagok száma igen nagy, így ezek lehetnek kis és nagy molekulájúak és adagolásuk történhet néhány tizedszázaléktól akár 50 %-ig is. [11]

2.2.2. Műanyagok osztályozása

A műanyagok csoportosítása hőmérsékletük, tulajdonságaik, vagy szerkezetük alapján történik. Az osztályozásuk nem egységes, mivel az egyes osztályozási szempontok között átfedés lehet. Bizonyos szempontok alapján egy anyag az egyik, míg más szempontok alapján egy másik csoportba kerülhet.

Az alábbi anyagcsoportokat különböztetjük meg:

- elasztomerek,
- hőre lágyuló műanyagok,
- hőre keményedő műanyagok,
- hőre keményedő anyagok, gyanták,
- műszaki anyagok,
- kompozitok. [11]

A kutatómunkám során a hőre lágyuló, és a műszaki anyagok csoportjába tartozó műanyagokkal foglalkozom, így a továbbiakban röviden ismertetem ezen anyagcsoportok főbb tulajdonságait.

A hőre lágyuló műanyagok lineáris vagy elágazott molekulákból álló anyagok, amelyek üvegesedési hőmérséklete meghaladja a szobahőmérsékletet. Feldolgozásuk magas hőmérsékleten történik, külső erő hatására. A hőmérséklet növekedésével az anyag megolvad, új alakot vesz fel. Lehűlés után megszilárdulnak és megtartják az olvadás során nyert alakjukat.

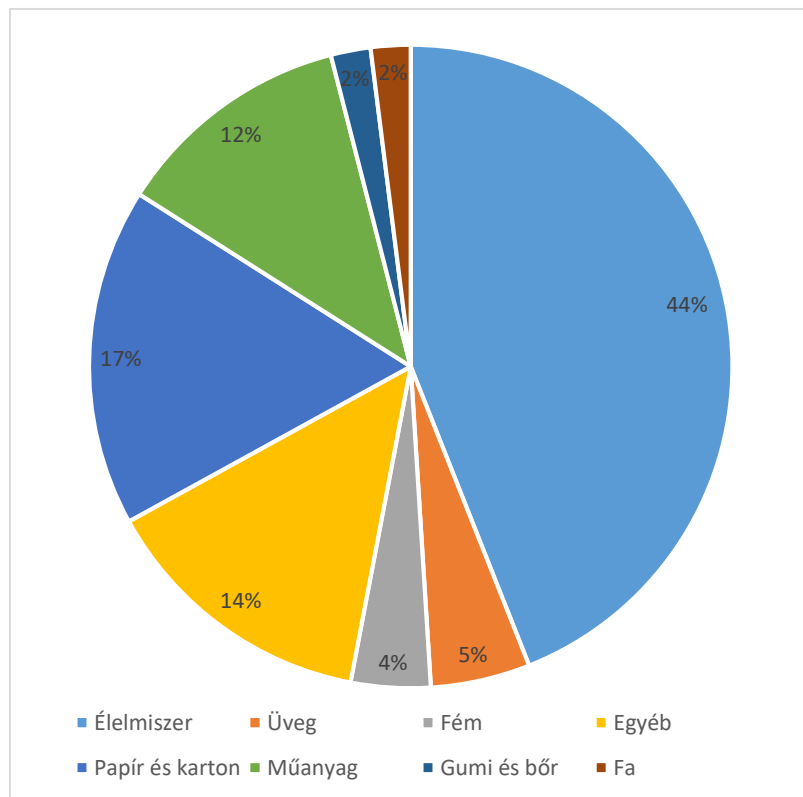
A műszaki anyagok jó mechanikai, elektromos és termikus tulajdonságokkal rendelkeznek. Emellett jellemző rájuk a nagy szilárdság és ütésállóság, illetve ezen műanyagok is hőre lágyulnak. [8]

2.2.3. Műanyag hulladék mennyisége napjainkban

A világon évente 1,6-2,0 milliárd tonna hulladék keletkezik. [12]

Mennyiségével és összetételével a gazdasági fejlettség szoros kapcsolatban áll. A fejlett országokban az emberek jövedelme magas, amely növekvő mennyiségű áru megvásárlását teszi lehetővé, ezáltal a Föld erőforrásait nemcsak a szükségletek, hanem egyéb nélkülözhető fogyasztói igények kielégítésére használják. [6]

A következő ábra (2. ábra) szemlélteti a keletkező hulladék összetétel alapján történő megoszlását. Legnagyobb mértékben az élelmiszer- és a zöldhulladék képződik, melyet a papír és kartonhulladék, valamint szorosan a műanyag hulladék követ.



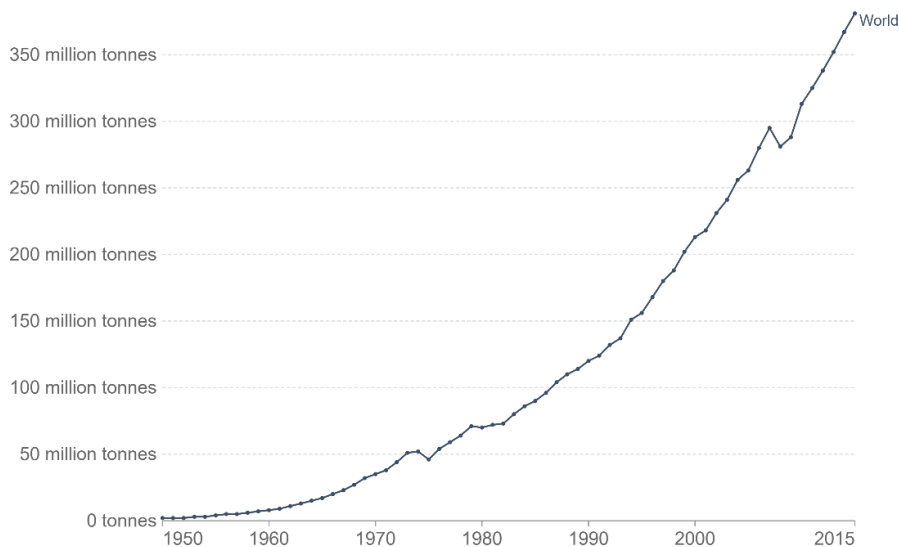
2. ábra: Globális hulladékösszetétel

forrás: saját összeállítás [13] adatai alapján

Az előzőek alapján megállapítható, hogy a műanyagok mindennapi életünk szerves részévé váltak. A világ műanyag igénye, és ezzel párhuzamosan az előállított műanyagok mennyisége jelentősen növekedett (3. ábra), valamint előreláthatóan ez a tendencia a következő években az eddigieknél is nagyobb mértékben fog folytatódni. [14]

Global plastics production, 1950 to 2015

Annual global polymer resin and fiber production (plastic production), measured in metric tonnes per year.



Source: Geyer et al. (2017)

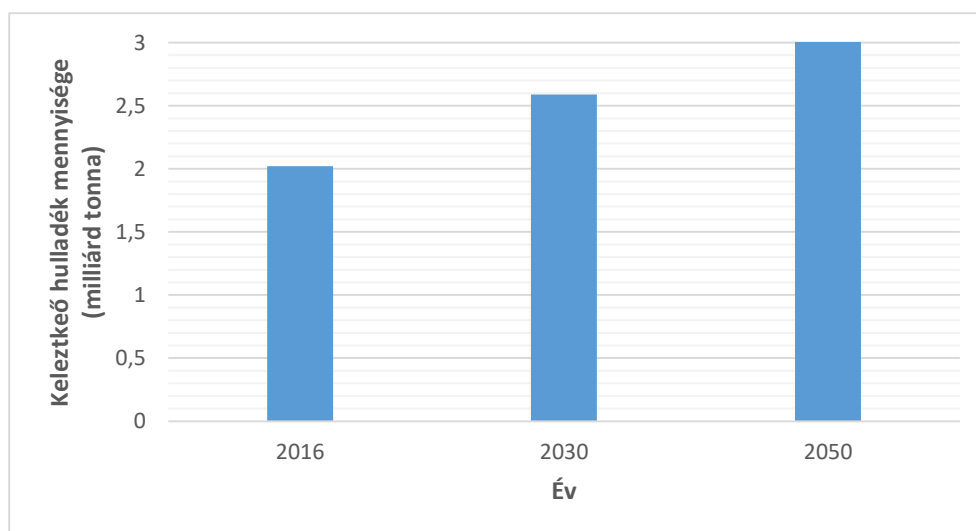
CC BY

3. ábra: Globális műanyag gyártás alakulása 1950-től 2015-ig [14]

A növekedés több okra vezethető vissza, a legjelentősebbek mind közül a világnépesség és az életszínvonal növekedése, továbbá a műanyagok eddig ismeretlen, új alkalmazási területeinek felfedése.

2.3. A megfelelő hulladékkezelés fontossága

A Világbank 2018 szeptemberében kiadott közleményében azt jósolta, hogy az emberiség hulladék-termelése 2050-re 70%-kal fog növekedni, amennyiben nem kerül sor megfelelő intézkedésekre. (4. ábra) [15]



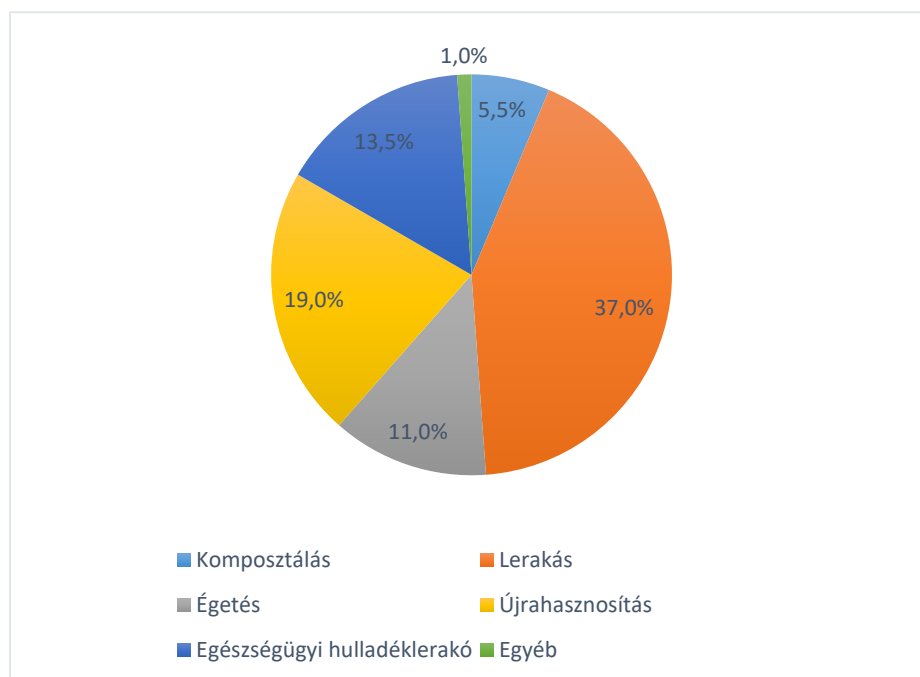
4. ábra: A települési szilárd hulladék tervezett termelése világszerte 2016-tól 2050-ig

forrás: saját összeállítás [16] adatai alapján

A probléma oka a népességnövekedésből adódó fogyasztási szint növekedése és a hulladék helytelen kezelése. A Global Waste Index azonban rávilágít, hogy a következő évtizedekben nem csak a hulladékképződés fogja fenyegetni bolygónkat, hanem az a mód, ahogyan kezeljük, vagyis éppen nem kezeljük. [15]

Laura Tuck, a Világbank fenntartható fejlődésért felelős alelnöke nyilatkozata is igazolja, hogy a nem megfelelő hulladékgazdálkodás káros az emberi egészségre és a környezetre. Gyakran a társadalom szegényebb rétegeit érinti hátrányosan a nem megfelelő hulladékgazdálkodás, mely szakadékot teremt ezzel a „szegény” és „gazdag” országok lakosai között. [15]

A következő diagrammon a különböző hulladékkezelési megoldások láthatók. (5. ábra)



5. ábra: Hulladékkezelés módszerei

forrás: saját összeállítás [17] adatai alapján

A környezet és az emberi egészség számára a legkárosabb megoldás a hulladéklerakás, melyet a leggyakrabban alkalmaznak, valószínűsíthetőleg mivel ez a legolcsóbb megoldás. A lerakók metánt bocsátanak ki, amely összefüggésben áll az éghajlatváltozással. A metánt a hulladéklerakókban jelenlévő mikroorganizmusok állítják elő biológiailag lebontható hulladékból, mint például élelmiszerből, papírból és kerti hulladékból. Építésük módjától függően a hulladéklerakók a talajt és a vizet is szennyezhetik. [17]

A lerakás után, a komposztálás jelentős, amely jóval környezetkímélőbb. Számos országban a konyhai és kerti hulladékot külön gyűjtik, amely energiaforrássá alakítható. Az anaerob lebontás során biogáz és maradékanyag keletkezik, amely másfelől trágyaként hasznosítható, mint a komposzt. [18]

Az újrahasznosítás, a hulladék új anyagokká történő átalakításának folyamata a legjobb módszer a hulladékkezelésre, valamint az égetés, amellyel a hulladékot energiává alakítják, sokkal kedvezőbbnek tartják. [19]

A Világbank jelentése emellett hangsúlyozza, hogy a jó hulladékgazdálkodási rendszerek elengedhetetlenek a körkörös gazdaság kiépítéséhez, ahol a termékeket újrafelhasználásra és újrahasznosításra tervezik és optimalizálják. [15]

2.4. Háztartási hulladékégetés

Az utóbbi években a lakossági szektorban sokan tüzelőanyagot váltottak takarékosági szempontból, így a gázfelhasználás csökkenésével párhuzamosan a szilárd biomassza felhasználás folyamatos, a lignit mennyisége pedig jelentős növekedést mutat. [20]

Magyarországon a legtöbb háztartásban vegyes tüzelésű fűtőberendezést, valamint kandallókat és kályhákat használnak. Ezen berendezések hatékony üzemeltetése meghatározott tüzelőanyag (pl.: fa, szén, brikett, stb.) alkalmazást igényel. [20]

Sok esetben nem az adott berendezéshez ajánlott tüzelőanyagokat égetik el, hanem a háztartásban fellelhető hulladékokat. A korábbi fejezetekben foglaltak alapján megállapítható, ez a legtöbb esetben műanyag hulladék.

A Levegő Munkacsoporthoz évente több száz panasz érkezik a lakosság illegális hulladékégetésével kapcsolatban. Az exponenciálisan növekvő bejelentések számra azt sejteti, hogy ezen tevékenység egyre elterjedtebb az országban, annak ellenére, hogy jogszabályban korlátozzák.

A levegő védelméről szóló 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet 4. §-a értelmében: „Tilos a légszennyezés, a diffúz forrás környezetvédelmi követelményeknek nem megfelelő működtetése miatt fellépő levegőterhelés, valamint a levegő lakosságot zavaró bűzzel való terhelése, továbbá a levegő olyan mértékű terhelése, amely légszennyezettséget okoz.” Továbbá a 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet 27. §-a is rendelkezik e kapcsán. Magába foglalja:

„Hulladék nyílt téri, vagy a hulladékok égetésének feltételeit rögzítő jogszabályban foglaltaknak nem megfelelő berendezésben történő égetése, a háztartásban keletkező papírhulladék és veszélyesnek nem minősülő, kezeletlen fahulladék háztartási berendezésben történő égetése kivételével tilos. Nyílt téri hulladékégetésnek minősül, ha a hulladék – az elemi kár kivételével – bármilyen okból kigyullad.” [1]

2.4.1. Műanyag égetés okai

2017-ben Kantar Hoffman Piac- és Közvéleménykutató Kft. a Levegő Munkacsoporttal és a Magyar Szegénységellenes Hálózattal közreműködve felmérést készített a magyar lakosság hulladékégetési szokásairól. [21]

A felmérésből kiderült, hogy a magyar lakosság harmada éget hulladékot valamilyen gyakorisággal zárt téri berendezésben vagy nyílt területen. A rendszeresen égetők aránya ugyan alacsonyabb mértékű, de ők azok, akik a háztartásban felgyülemlett hulladékot, illetve a szemetet minden esetben vagy legtöbbször eltüzelik. [21]

Elsődleges oknak az tekinthető, mint a korábbi fejezetekben taglaltak is igazolnak, hogy egy egyszerű háztartásban is tömördek mennyiségű műanyag hulladék halmozódik fel. Sajnos az emberek többsége pont emiatt kezdi el felhasználni fűtési célokra, mivel nagy mennyiségben áll rendelkezésre.

Másodlagos ok az anyagi helyzet, hiszen sokaknak nem áll rendelkezésre megfelelő anyagi keret a jobb minőségű tüzelőanyag (szén, száraz fa) megvásárlására. Egyéb alternatíva, mint például a földgáz még csak be sincs kötve a háztartásba.

Harmadlagos okként az illegális tüzeléssel összefüggésbe hozható a sok jómódú ember tudatlansága és felelőtlen magatartása.

2.4.2. Leggyakrabban elégetett műanyagfajták a háztartásokban

A műanyagok térhódításának köszönhetően manapság szinte áttekinthetetlenül sokféle műanyag kerül felhasználásra. Műanyagot tartalmaznak a ruhák, bútorok, műszaki cikkek, festékek és a legtöbb csomagolóanyag. Az utóbbi kategória szerves részét képezik a különféle zacskók, eldobható palackok, melyek az elégetett háztartási hulladék legnagyobb részét képezik.

A háztartásokban leggyakrabban előforduló műanyagok a következők:

- polietilén-tereftalát (PET),
- polietilén (PE),
- poli(vinil-klorid) (PVC),
- polipropilén (PP),
- polisztirol (PS). [22]

Kutatási munkám kísérletei során megvizsgált 3 műanyag a PVC, a PE és a PS a későbbiekben lesznek részletesebben bemutatva.

2.4.3. Felszabaduló égésgázok és azok mérgező hatásai

Az előzőekben felsorolt bármely műanyag égetése során számolni kell az anyagi összetételből eredő káros anyag kibocsátással, illetve a tökéletlen égés és relatív alacsony égési hőmérséklet következményeként felszabaduló káros melléktermékek jelenlétével. A levegő szennyezése mellett, további nagy mennyiségű káros anyag marad vissza az égetés helyén is, hamu és pernye formájában, melyek elhelyezése szintén problémát jelent. [22]

Az 1. táblázatban a műanyagok elégetésekor keletkező szennyezőanyagok és azok egészségkárosító hatásai kerülnek bemutatásra.

1. táblázat: Műanyagok elégetése során gyakran keletkező anyagok és egészségkárosító hatásaik
forrás: saját összeállítás [22] adatai alapján

Légszennyező megnevezése	Egészségkárosító hatás
szén-monoxid (CO)	Gyengíti a vér oxigénszállító képességét, oxigénhiányos állapotot, halált okozhat.
nitrogén-oxidok (NO _x)	Csökkentik a tüdőfunkciót, és különféle légzőszervi tünetek kockázatát növelik.
hidrogén-klorid (HCl)	A tüdőt károsítja és a krónikus hörghurut kialakulásában játszik szerepet.
kén-dioxid (SO ₂)	Izgatja a nyálkahártyát, a légző rendszert, hörgő összehúzódást, krónikus hörghurutot és csökkent légzésfunkciót okoz.
illékony szerves vegyületek (VOC)	Potenciális rákkeltő anyagok, károsíthatják a májat, a vesét és a központi idegrendszert.
policiklusos aromás szénhidrogének (PAH)	Karcinogén, mutagén és teratogén hatású.
poliklórozott bifenil-származékok (PCB)	Karcinogén, valamint bőr és szem elváltozásokat, légzészavarokat, tüdőkárosodásokat, csökkenő immunreakciókat, valamint máj-, vesekárosodást okoz.
dioxinok	Karcinogén, magas toxicitású. Károsítják az immunrendszert, hosszú távon cukorbetegséget és endometriózist okoz.

A műanyag hulladékok nyílt színi égetése közvetlen és közvetett módon is veszélyes az egészségre. A levegőbe kerülő 1. számú táblázatban prezentált toxikus részecskék éveken keresztül mérgezik a tágabb és szűkebb környezetünket, ezáltal a kertjeinket, melyben a zöldségeket és a gyümölcsöket termesztjük.

Kutatómunkám mérésinek célkitűzése ezen szennyező komponensek jelenlétének igazolása.

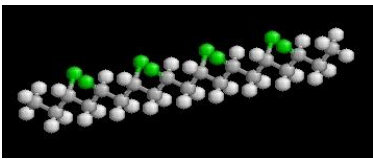
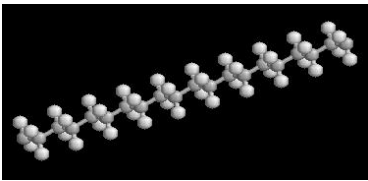
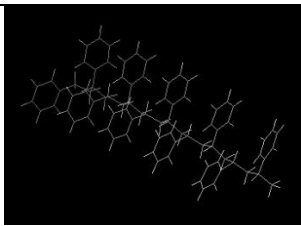
3. Vizsgálati anyagok és módszerek

3.1. Vizsgálati anyagok

A kísérletimhez felhasznált három különböző műanyag molekulaképét és –szerkezetét a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat: A vizsgált műanyagok molekulaképe és –szerkezeti képlete

forrás: saját összeállítás [23,24] alapján

PVC	PE	PS
		
$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{C}_6\text{H}_5 & \text{H} \end{array} \right]_u$

A következő alfejezetekben a vizsgált műanyagok tulajdonságai kerülnek bemutatásra.

3.1.1. Poli(vinil-klorid)

A PVC – poli(vinil-klorid) – a harmadik legnagyobb mennyiségben felhasznált műanyag. Úgynevezett „örökifjú műanyag”, hiszen az első világháború után kezdték meg a gyártását, amely a mai napig töretlenül folyik. [25]

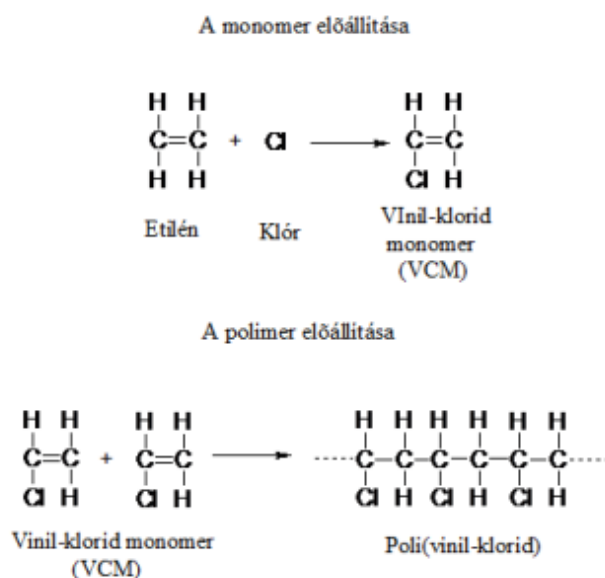
Képlete $\text{CH}_2=\text{CHCl}$. [25]

Az iparban többféle eltérő tulajdonságú poli(vinil-klorid) típust használnak, közülük a legjelentősebbek a következők:

- kemény poli(vinil-klorid),
- lágy poli(vinil-klorid),
- utánklorozott poli(vinil-klorid),
- ütésálló poli(vinil-klorid),
- poli(vinil-klorid) kopolimerek. [24]

A monomer vinil-klorid előállítása etilénből, vagy acetilénből történik. A két előállítási módszert

általában kombinálva alkalmazzák, mivel az etilén alapú eljárásban keletkező sósav (HCl) az acetilén eljárásban előnyösen hasznosítható. Napjainkban a monomer vinil-kloridot kb. 90%-ban etilén alapon, a poli(vinil-kloridot) a vinil-klorid gyökös polimerizációjával, szuszpenziós, emulziós vagy tömbpolimerizációs módszerrel állítják elő. A 6. ábra a poli(vinil-klorid) előállításának reakcióit szemlélteti. [24]



6. ábra: A poli(vinil-klorid) előállításának reakciói [24]

A PVC önmagában rideg, üvegszerűen viselkedő anyag, amely lágyítók hozzáadásával rugalmassá, nyújthatóvá tehető. A lágyítótartalom nagyságától függően megkülönböztethető a korábbiakban már említett, kemény és a lágy PVC-k csoportja. A kétféle típus tulajdonságai rendkívül eltérőek, így alkalmazási területeik is különbözőek.

Kemény PVC az a műanyag, amely egyáltalán nem, vagy csak 10% alatti mennyiségben tartalmaz lágyítót. Hőre lágyul, mely 80 °C körül hőmérsékleten indul meg. Költséghatékony, jól ellenáll az ütésnek, az időjárásnak, a vegyszereknek és a korrozív környezetnek. Legfontosabb alkalmazási területei a csomagolástechnika (pl.: flakonok, palackok, fóliák stb.), az építőipar (pl.: lemezek, csövek, fittingek víz lefolyó- és nyomóvezetékekhez, ablakkeretek, ajtók stb.) és villamos ipar (pl.: kábelvédő csövek és szerelvények stb.). A lágy PVC tulajdonságai az alkalmazott lágyító típusától és koncentrációjától függenek. Alkalmazási területei a műanyagpadlóktól, a gyerekjátékokon át, a kábel- és huzalszigetelésekig terjednek. [26]

A legmérgezőbb és legveszélyesebb műanyagnak tartják, hiszen gyártása során nagy mennyiségű mérgező kémiai szennyezőanyag keletkezik, például dioxin, sósav és vinil-klorid. [27]

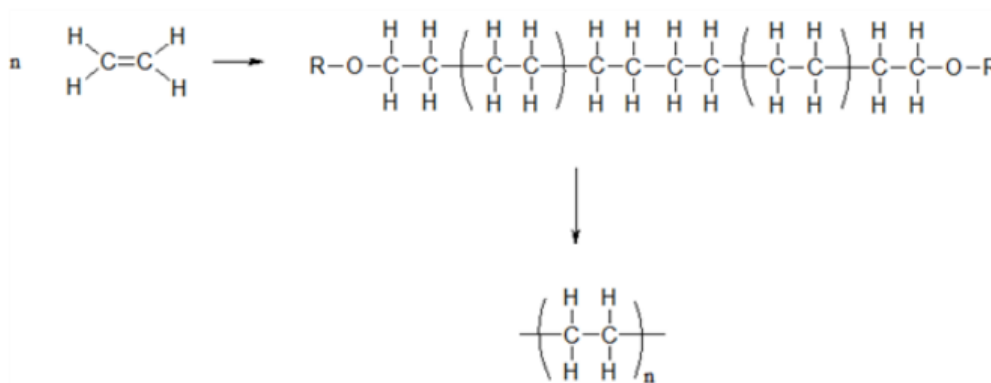
3.1.2. Polietilén

A polietilén a tömegműanyagok csoportjába tartozik, így az egyik legnagyobb mennyiségben

előállított műanyag. Képlete $(C_2H_4)_n$. [24]

Kristályos, apoláris, kis vízfelvevő képességű, vékony rétegben áttetsző, paraffinszerű tapintású műanyag. Hőre lágyuló, éghető és jó szigetelő, fagyálló tulajdonságokkal bír. [28]

A PE egy poliolefin. A poliolefinek családjába tartoznak, azok az α -olefinekből előállított polimerek és kopolimerek, amelyek tisztán szénből és hidrogénből épülnek fel. Monomerjét, az etilént földgáz, kőolaj- vagy benzinfrakciók pirolízisével állítják elő igen nagy mennyiségben. A polietilén előállításának általános reakciósémáját a 7. ábra mutatja. [24]



7. ábra: A polietilén előállítása [24]

A polietilén különböző típusait sűrűségük alapján lehet megkülönböztetni:

- ultra kis sűrűségű (ULDPE),
- nagyon kis sűrűségű (VLDPE),
- lineáris kis sűrűségű (LLDPE),
- kis sűrűségű (LDE),
- közepes sűrűségű (MDPE),
- nagy sűrűségű (HDPE),
- ultra nagy sűrűségű polietilén. [24]

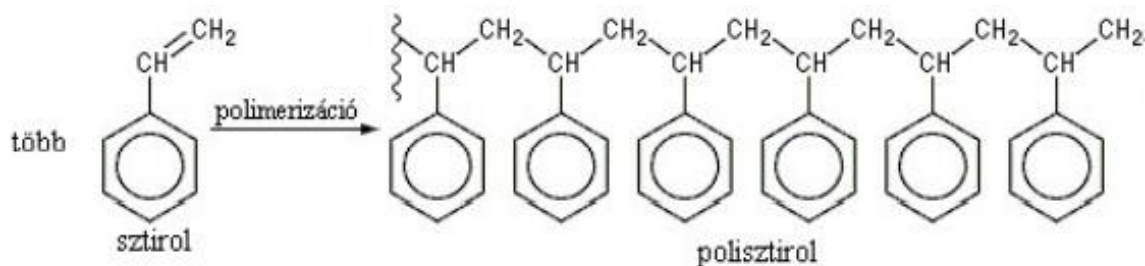
A különféle típusok előállítására eltérő gyártási eljárásokat alkalmaznak. Az iparban legelterjedtebb polimerizációs módszerek a nagynyomású, közepes nyomású és a kisnyomású eljárások. [11]

Alkalmazási területei szerteágazóak. A legjelentősebb felhasználási területe a csomagolástechnika és ezen belül a fóliagyártás. A kis sűrűségű fajtájából fóliák, zsugorfóliák, élelmiszerfóliák, kábel és huzalszigetelések, valamint fröccsöntött ipari alkatrészek készülnek. Nagy- és közepes sűrűségű polietilént alkalmaznak a gáz-és üzemanyagtartályok, rekeszek, ládák, konténerek, kukák gyártásakor. [24]

3.1.3. Polisztirol

A polisztirol az egyik legrégebben ismert és legelterjedtebb szintetikus műanyag.

Képlete: $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)]_n$. A polisztirol homopolimer fej-láb kapcsolattal rendelkező, ataktikus szerkezetű, amorf, üvegszerű, rideg anyag. Szakítószilárdsága közepes, mérettartása jó. Hőállósága korlátozott, villamos tulajdonságai jók. Savaknak, lúgoknak jól ellenáll, aromás oldószerekben oldódik, azonban időjárás-állósága gyenge. Sztirol monomerből állítják elő tömb-, szuszpenziós- és emulziós polimerizációval. Előállításának reakciósémáját a 8. ábra szemlélteti. [24]



8. ábra: A polisztirol előállítása [24]

A legnagyobb mennyiségben előállított PS típusok amkövetkezők:

- normál polisztirol (PS),
- ütésálló polisztirol (PS-HI),
- habosítható polisztirol (EPS). [26]

Kutatásom során habosított polisztirolt vizsgáltam. A habosítható polisztirol (EPS) előállításakor a sztirolt szuszpenziós (gyöngy) eljárással polimerizálják, amikor is a polimerizálandó rendszerhez viszonylag alacsony forráspontú szénhidrogént (pentánt) adnak, mely a habos szerkezet kialakításáért felelős. Sűrűsége a gyöngyök szemcseméretétől és a habosítási technológiától függően 15-35 kg/m³. Fizikai és kémiai tulajdonságait tekintve formatartó, zárt cellaszerkezetű, kiváló hőszigetelő tulajdonságú, de gyenge hőállóságú. [11]

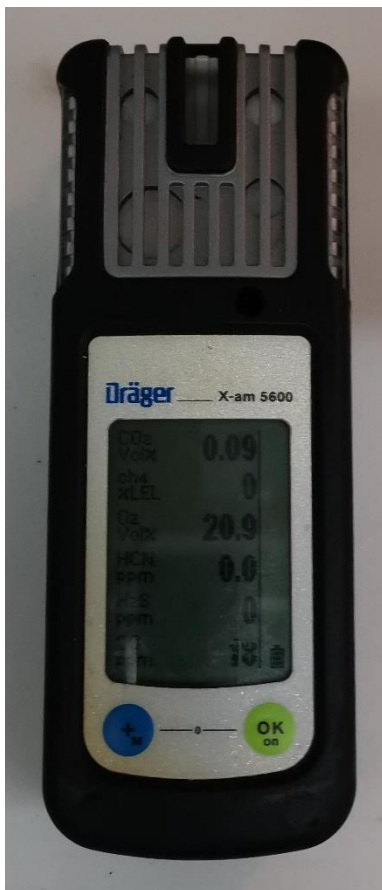
A PS habokat elsősorban az építőiparban és a csomagolástechnikában alkalmazzák. Az építőiparban hőszigetelő lemezek, a csomagolástechnikában formahabok készülnek belőle, amelyekkel a különféle használati berendezések (TV, hűtőszekrény stb) biztonságos szállítását tudják biztosítani. [26]

3.2. Vizsgálati eszközök, módszerek

Az elkövetkezendő alfejezetekben a vizsgálat során alkalmazott eszközök, valamint a vizsgálati módszerek kerülnek bemutatásra, melyek alkalmazásával a vizsgált anyagok szennyezőanyag kibocsátásainak meghatározása történt.

3.2.1. Dräger X-am[®] 5600 Multigáz-érzékelő

A Dräger X-am[®] 5600 (9. ábra) egy ergonomikus kialakítású, innovatív infravörös érzékelőtechnológiát használó gáزدetektor, mely alkalmazásával 1-6 –féle gázt is lehet egyidőben mérni. [29]



9. ábra: Dräger X-am[®] 5600 Multigáz-érzékelő

forrás: saját felvétel

A gázérzékelő készülék alkalmazási területei sokszínűek, főként személyes levegő-ellenőrzésre szolgálnak, de használhatók levegőtisztasági mérésekre zárt terekben (speciális tartozékokkal), illetve szivárgás érzékelésére, sőt akár területmonitorozásra is.

A beépített IR Ex infravörös érzékelő pontos és megbízható eredményt szolgáltat nem csak az oxigén, hanem az összes káros gáz nagyon alacsony koncentrációjú, akár laboratóriumi minőségben történő mérése során. A mérés elve infravörös fénytörésen alapul. Az 1–6 gázt is érzékelő detektor az O₂, Cl₂, CO, CO₂, H₂, H₂S, HCN, NH₃, NO_x, NO₂, PH₃, SO₂, O₃, amin, COCl₂ és szerves gőzök kívánt kombinációit érzékeli az alkalmazás igényeinek megfelelően. [30]

Az általam alkalmazott készülék a O₂, CO, CO₂, HCN, H₂S komponensek koncentrációinak mérésre lett konvertálva.

A vizsgált komponensek mérési tartományát az 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat: A vizsgált komponensek mérési tartományai
forrás: saját összeállítás [22] adatai alapján

Éghető gáz	Mérési tartomány
O ₂	0–25 térf. %
CO	0–2000 ppm
CO ₂	0–5 térf. %
HCN	0–50 ppm
H ₂ S	0–100 ppm

A felhasználási előírásokról az érzékelő használati útmutatójában tájékozódtam, ahol a különböző szabványok is fel vannak tüntetve, a készülék működésével és a komponensek mérésére vonatkozóan:

- MSZ EN 50104:2020: Villamos gyártmányok oxigén érzékelésére és mérésére. Működési követelmények és vizsgálati módszerek,
- MSZ EN 45544-1:2015: Munkahelyi levegő. Toxikus gázok és gőzök közvetlen kimutatására és koncentrációjuk közvetlen mérésére használt villamos készülékek. 1. rész: Általános követelmények és vizsgálati módszerek,
- MSZ EN 45544-2:2015: Munkahelyi levegő. Toxikus gázok és gőzök közvetlen kimutatására és koncentrációjuk közvetlen mérésére használt villamos készülékek. 2. rész: Expozíció mérésére használt készülékek teljesítménykövetelményei,
- MSZ EN 50271:2018: Villamos gyártmányok éghető gázok, mérgező gázok vagy oxigén érzékelésére és mérésére. Szoftvert és/vagy digitális technikát alkalmazó gyártmányok követelményei és vizsgálatai,
- MSZ EZ 60079-29-1:2017: Robbanóképes közegek. 29-1. rész: Gázérzékelők. Éghető gázok érzékelőinek működési követelményei (IEC 60079-29-1:2016, módosítva). [31]

3.2.2. UV-VIS spektrofotometria

A műszeres analitikai eljárások jelentős csoportját alkotják a minta és az elektromágneses sugárzás kölcsönhatásán alapuló spektrofotometriai módszerek. Ezen módszerek a vizsgált mintából származó, kisugárzott, vagy a mintával kölcsönhatásba lépő elektromágneses sugárzást használják fel a minta anyagi minőségének, mennyiségi összetételének, illetve az anyag szerkezetének vizsgálatára. Az elektromágneses sugárzással kapcsolatos spektroszkópiai jelenségek értelmezésénél a hullámot jellemző a hullámhossz alapján különböztethetők meg a spektrális eljárások. Ezenkívül atom- és molekula-spektroszkópiai módszerekre osztható, annak megfelelően, hogy az analitikai információ

atomokból vagy molekulákból származik. [32]

4. táblázat: Hullámhossztartományok alapján megkülönböztetett spektrális eljárások

forrás: saját összeállítás [32] alapján

Elnevezés	Hullámhossztartomány	Spektroszkópai módszer
Gamma	0,5-10 pm	gamma-spektroszkópia
Röntgen (X-ray)	0,01-10 nm	röntgen-spektroszkópia
Ultraibolya (UV)	180-350 nm	UV-spektroszkópia
Látható (VIS)	350-780 nm	VIS-spektroszkópia
Infravörös (IR)	2-25 μ m	IR-spektroszkópia
Mikrohullámok	0,3 mm – 1 m	EPR-spektroszkópia
Rádióhullámok	1-300 m	MMR-spektroszkópia

Az 4. táblázatban felsorolt eljárások közül munkám során az úgynevezett optikai spektroszkópai módszert, vagyis az ultraibolya (UV) és látható (VIS) hullámhossz tartományokat felhasználó módszert alkalmaztam.

Az UV-VIS abszorpciós spektrometria mennyiségi analízisre alkalmas, amelynek alapja a Lambert-Beer-törvény. A törvény leírja a meghatározandó komponens koncentrációja (c) és az abszorbancia (A) közötti összefüggést. [33]

$$A = \lg \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

ahol, A: abszorbancia,

I_0 : a besugárzó fény kezdeti intenzitása,

I: besugárzott fény végső intenzitása.

A látható és az ultraibolya tartományban használatos spektrométer olyan optikai rendszer, amelyek a 200-800 nm hullámhossz-tartományban monokromatikus sugárzás előállítására alkalmas, és magába foglalja az abszorbancia mérésére alkalmas berendezést is. [33]

A Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztály Környezetvédelmi Mérőközpontjában a spektrofotométer típusa: Thermo Evolution 500 UV-Visible Spectrophotometer. (10. ábra)



10. ábra: Thermo Evolution 500 UV-Visible Spectrophotometer

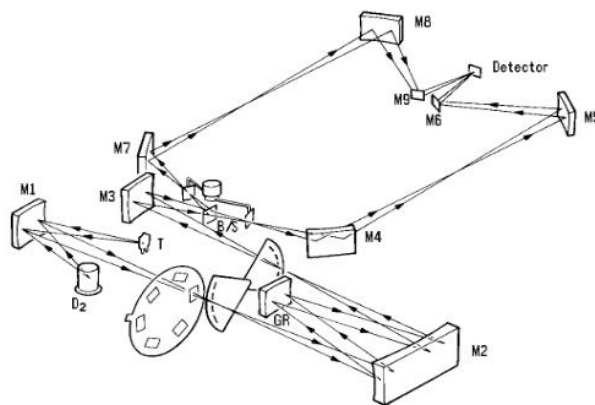
forrás: saját felvétel

Az UV-VIS spektrométer fő részei:

- fényforrás,
- monokromátor,
- mintatároló kivetta,
- detektor,
- jel és adatfeldolgozó egység.[33]

A Mérőközpontban lévő spektrométer működési elve szerint kétutas készülék, melynek blokkvázlatát a 11. ábra szemlélteti.

A kétutas spektrofotométerben egy deutérium- vagy egy volfrámlámpa található, melynek fénye a forgatható optikai rácstra vetődik, így ki tudja választani az alkalmazandó hullámhosszt. A fényútban a nem kívánt színek kirekesztésére rendelkezik egy-egy színszűrővel. Egy szaggató kettéválasztja a fénysugarat, melyek közül az egyiket a mintát tartalmazó küvettán vezeti át, míg a visszaverődő fénysugár a referenciaküvettán (vakoldaton) halad át, mely csak a reagenst tartalmazza. A sugárforrás fényét a szaggató (chopper) egy másodperc alatt többnyire néhányszor szaggatja, ezáltal változtatja a fényút menetét, és a két fényúton történő elemzéssel automatikusan külön-külön hasonlítja össze a mért abszorbancia értékeket és regisztrálja. [32]



11. ábra: Spektrofotométer blokkvázlata [34]

3.2.3. Gázkromatográfia

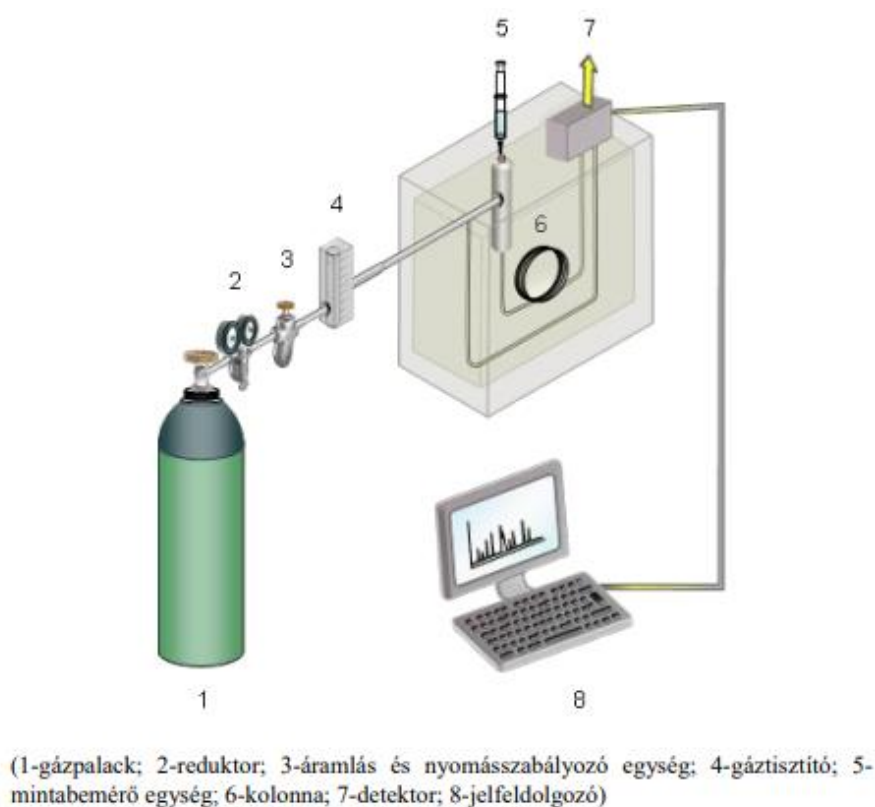
A kromatográfia az analitikai elválasztási módszerek egyik nagy csoportja. Egy soklépéses elválasztástechnikai eljárás, amelynél a vizsgálandó minta komponensei két fázis, az álló- és a mozgófázis között oszlanak meg. [32]

Az állófázis halmazállapotát tekintve lehet szilárd vagy folyékony, de fő jellegzetessége a helyhez kötöttség, valamint az, hogy kölcsönhatások jöhetnek létre a felületén. A mozgófázis gáz, szuperkritikus fluidum és folyékony halmazállapotú lehet.

A mozgófázis halmazállapotától függően csoportosítható a kromatográfia, miszerint:

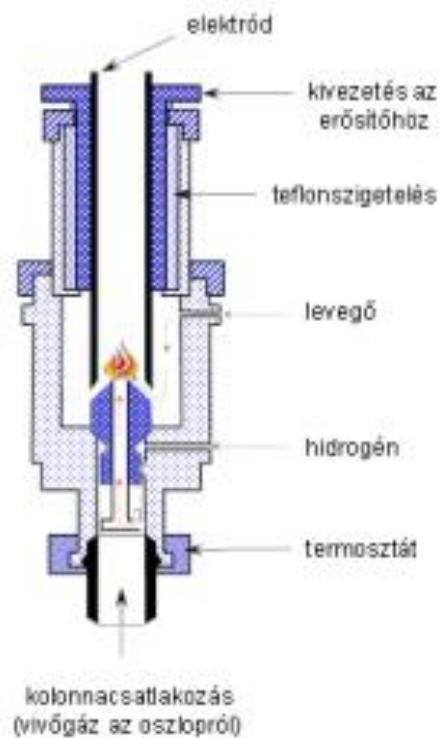
- ha a mozgófázis gáz, akkor gázkromatográfia;
- ha a mozgófázis szuperkritikus fluidum, akkor szuperkritikus fluid kromatográfia;
- ha a mozgófázis folyadék, akkor folyadékkromatográfia. [33]

A felsorolt három elválasztási módszer az állófázis halmazállapota alapján további csoportokra bontható. Kutatásom során gázkromatográfiás módszert alkalmaztam, ahol az állófázis halmazállapota lehet szilárd (gáz-szilárd kromatográfia) vagy folyadék (gáz-folyadék kromatográfia). A gázkromatográfia termikusan stabil, illékony, szerves és szervetlen vegyületek elválasztására szolgáló eljárás, így kiválóan alkalmas a szénhidrogének és származékainak, valamint a környezetszennyező anyagok meghatározására. [32]



12. ábra: A gázkromatográf felépítése [32]

A gázkromatográf felépítését a 12. ábra szemlélteti. Működését tekintve a GC-s elválasztási technika során az inert vivőgáz nem lép kölcsönhatásba a mintával. Működés közben állandóan áramlik a vivőgáz, amely képes a gőz állapotú komponenseket átjuttatni az oszlopon/kolonnán, amely az elválasztást végzi és ahonnan az oszlop végéhez csatlakozó detektorba jut. Az eljárás során a leggyakrabban alkalmazott detektor típus a lángionizációs detektor (FID), mely felépítését tekintve egy elektród pár mellé helyezett, hidrogén/sűrített levegő eleggyel táplált mikroégő. Kialakítását az 13. ábra mutatja be. Az oszlopot elhagyó komponensek a detektor lángba jutva többlelépéses reakcióban, oxigén közreműködésével ionizálódnak. [32]



13. ábra: Lángionizációs detektor [32]

Az elektródok között, az ionok hatására áram folyik, ami erősítés után mérhető. A detektor által előállított és továbbított jel teszi lehetővé az elválasztott komponensek azonosítását és mennyiségi meghatározását. Az elválasztott komponensek detektorjel-idő függvényét kromatogramnak nevezzük. A kromatogram fő jellemzője a retenciós idő (a minta adagolásától az alkotó maximális koncentrációjának megjelenéséig eltelt idő) és a csúcs alatti terület. Az előbbi minőségi, az utóbbi mennyiségi információt szolgáltat a vizsgált mintáról. [32]

A Mérőközpontban Agilent Technologies 6890N Network GC System típusú gázkromatográfiás készülék található. (14. ábra)



14. ábra: Agilent Technologies 6890N Network GC System

forrás: saját felvétel

3.2.4. A gázok térfogatáramának meghatározása a légszennyező forrásban

Kutatómunkám során, laboratóriumi irányított körülmények között történő műanyag égetés során felszabaduló füstgáz sósav és szerves komponense tartalmának meghatározására irányuló vizsgálatokat végeztem el a Széchenyi István Egyetem tűzvédelmi laboratóriumában. Az égetési kísérletek menete, valamint a mintaelőkészítés folyamata az alábbi fejezetben kerül ismertetésre.

A mintavétel a szennyező anyag kibocsátásának helyén, a szennyező forrásból, zárt helyiségben valósult meg, tehát emissziós mintavétel történt.

A mintavétel módja alapvetően megszabja az analitikai eljárás megbízhatóságát. Alapelve, hogy a mintának reprezentálni kell az adott közeget, amelyből a komponensek meghatározása történik. Levegőből történő mintavételnél az összes, a levegő állapotjelzőit befolyásoló, paramétert rögzíteni kell (pl.: hőmérséklet, nyomás, relatív páratartalom stb.), így első lépésben erre került sor.

Második lépésben törekedni a térfogatáram mérésére került sor. Hiszen a térfogatáram ismeretében lehet csak kiszámolni a szennyezőanyag tartalmat kg/h kibocsátási koncentrációban megadva, valamint ezen érték alkalmazásával a jogszabályokban előírtak figyelembevételével lehet megállapítani, hogy történt-e határérték túllépés, vagy sem.

Ezen feltétel kielégítése érdekében a mérési hely kialakítása során hosszú és egyenes, állandó keresztmetszetű csatornaszakasz került kiválasztásra.

A kialakított mérési hely után a térfogatáram-meghatározáshoz szükséges mérések

végrehajtására került sor.

A meghatározás során az MSZ 21853-2 számú „Légszennyező források vizsgálata. A térfogatáram meghatározása.” elnevezésű szabvány adott iránymutatást.

A méréshez használt eszközök a következők:

- differenciál-nyomásmérő;
- hőmérő;
- nedvességtartalom-mérő;
- nyomásmérő.

A nyomásmérő eszközzel a pillanatnyi értékek leolvasása történt. Ezután a hordozógáz hőmérsékletét mértem meg, majd a nedvességtartalmát, valamint a barometrikus nyomást, a mérőhely magasságában.

A keresett térfogatáram a következő résszámítások alapján kapható meg:

a. Az alkalmazott Prandtl-csőves mérés esetén m/s-ban a helyi gázsebesség:

$$c_{ni} = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{di}}{\rho_n}} \quad (2)$$

ahol, ρ_{di} a hordozógáz sűrűsége a mérési pontban mért állapotjelzők alapján [kg/m^3];

p_{di} a helyi sebesség négyzetével arányos nyomáskülönbség [Pa].

b. A hordozógáz száraz, normálállapotra vonatkoztatott sűrűség kg/m^3 -ben (ρ_{szN}):

$$\rho_{szN} = \sum_{i=1}^n r_{ni} \cdot \rho_{szNi} \quad (3)$$

ahol, r_{ni} : az egyes komponensek térfogataránya a gázkeverékben;

ρ_{szNi} : az egyes komponensek száraz, normálállapotra vonatkoztatott sűrűsége [kg/m^3].

A képletben az egyes komponensek sűrűségét (ρ_{szNi}) a relatív molekulatömeg (M_i) és a normálállapotú móltérfogat (V_{mni}) hányadosaként számolható ki.

A hordozógáz tényleges sűrűségének kiszámításához még a nedvességtartalmat is meg kell határozni. A nedvességtartalmat ismert mennyiségű gázminta nedvességtartalmának adszorpciójával lehet meghatározni.

A nedves hordozógáz normálállapotra vonatkoztatott sűrűségét (ρ_{nN}) kg/m^3 -ben:

$$\rho_{nN} = \frac{\rho_{szN} + f_N}{1 + \frac{f_N}{0,804}} \quad (4)$$

ahol, f_N : a hordozógáz nedvességtartalma kg -ban, 1 m^3 száraz, normálállapotú gázra

vonatkoztatva.

A hordozógáz aktuális sűrűségét kg/m^3 -ben (ρ_n) a mérési pontban mért állapotjelzők alapján:

$$\rho_n = \rho_{nN} \frac{T_0 \cdot p_{\text{összes}}}{T_{\text{közeg}} \cdot p_0} \quad (5)$$

ahol, p_{cs} : a hordozógáz abszolút nyomása [mbar];

T_{cs} : a hordozógáz hőmérséklete [K].

c. A mérési szelvényen átáramló térfogatáram m^3/s -ban (q_n):

$$q_n = A \cdot c_{\text{átl}} \quad (6)$$

Ugyanez a térfogatáram m^3/h -ban:

$$q_N = A \cdot c_{\text{átl}} \cdot 3600 \quad (7)$$

ahol, A : a hordozógáz áramlása szempontjából hatásos keresztmetszet [m^2].

A mérési szelvényen átáramló térfogatáramot fizikai normálállapotra m^3/s -ban (q_{nN}):

$$q_{nN} = p_n \frac{T_0 \cdot p_{\text{összes}}}{p_0 \cdot T_{\text{közeg}}} \quad (8)$$

Az emisszió mérésekor a szennyezőanyagok koncentrációját száraz normálállapotra kell vonatkoztatni és a nedvességtartalom figyelembevételével ki kell számolni a normálállapotra vonatkoztatott száraz térfogatáramot is a mérési keresztmetszetben m^3/s -ban (q_{szN}):

$$q_{szN} = \frac{q_{nN}}{1 + \frac{f_N}{0,804}} \quad (9)$$

A méréshez már a korábbiakban említett három fajta műanyag hulladék alapanyagot alkalmaztam, melyekről az 5. táblázatban látható egy-egy fénykép.

5. táblázat: Az elégetésre előkészített műanyagminták

forrás: saját felvétel

PVC	PE	PS
		

4. Eredmények kiértékelése

4.1. Hordozható gázelemzővel végzett mérések eredményei

A PVC, PE és PS minták irányított laboratóriumi égetése által kibocsátott légszennyező komponensek mérésének eszközháttérét a már 3.2.1. fejezetben ismertetett Dräger X-am® 5600 Multigáz-érzékelő adta.

Egyidejűleg 6 különböző gázt érzékelt a speciális infravörös érzékelő cellák segítségével.

Az eszköz által mért gázok:

- oxigén (O_2),
- szén-monoxid (CO),
- szén-dioxid (CO_2),
- metán (CH_4),
- hidrogén-cianid (HCN),
- kén-hidrogén (H_2S).

Az égés során kibocsátott füstgázt a műszer szivattyú rendszerrel vette fel. A gázbelépés a készülék két oldalán történt, alul és felül. (15. ábra)



15. ábra: A PVC, PE és PS minták égetése, keletkező égéstermék összetételének mérése a multigáz érzékelővel, forrás: saját felvétel

A mérési eredményeket az alfanumerikus kijelző jelezte ki.

Kibocsátási határérték túllépés esetén riasztás lépett fel, mely optikai, akusztikai és vibrációs jelzéssel történt a megadott ritmusban. Méréseim során „A1” osztályú riasztás lépett fel, amely az adott komponens többletére utalt. A 6., 7. és a 8. táblázatban a PVC, PE és PS minták égetése során mért gázok értékei kerülnek feltüntetésre.

6. táblázat: A PVC minta égetése során mért eredmények

forrás: saját összeállítás

Mért értékek PVC	
CO ₂ [térf. %]	0,12
CH ₄ [%LEL]	0
O ₂ [térf. %]	20,9
HCN [ppm]	1,4
H ₂ S [ppm]	0
CO [ppm]	52 [A1]

7. táblázat: A PE minta égetése során mért eredmények

forrás: saját összeállítás

Mért értékek PE	
CO ₂ [térf. %]	0,10
CH ₄ [%LEL]	0
O ₂ [térf. %]	20,9
HCN [ppm]	0
H ₂ S [ppm]	0
CO [ppm]	40 [A1]

8. táblázat: A PS minta égetése során mért eredmények

forrás: saját összeállítás

Mért értékek PS	
CO ₂ [térf. %]	0,09
CH ₄ [%LEL]	0
O ₂ [térf. %]	20,9
HCN [ppm]	0
H ₂ S [ppm]	0
CO [ppm]	32

A mérési eredményeket elemezve megállapítható, hogy az égés során több, az emberi egészséget és a környeztet súlyosan károsító égéstermék (CO, CO₂, HCN,) keletkezett. A legtöbb káros égéstermék

a PVC elégetése során keletkezik.

4.2. Térfogatáram meghatározása

A térfogatáram meghatározásához a 9. táblázatban kerültek az alapadatok feltüntetésre.

9. táblázat: A térfogatáram meghatározásához szükséges adatok

forrás: saját összeállítás

Adatok	
Nedvességtartalom [f_N]	0,48 tf% - 0,0055 kg/m ³
Oxigén [O ₂]	21 tf%
Nitrogén [N ₂]	79 tf%
Mérési keresztmetszet [A]	0,02407 m ²
T _{környezeti}	15,6 °C – 288,6 K
T _{közeg}	21,3 °C – 294,3 K
p _{barometikus}	101138 Pa
p _{összes}	101138 Pa
Egyetemes gázállandó [R]	8,314
p ₀	101325 Pa
T ₀	273 K

A számításokhoz a fentiekben részletezett képleteket alkalmaztam, az általam elvégzett műveletek az alábbiakban láthatók, melyek az összes mintára értelmezendők.

1. Mólsúly kiszámítása

$$M_{O_2} = 32 \text{ g/mol}$$

$$M_{N_2} = 28 \text{ g/mol}$$

$$M = \frac{\text{oxigén tf\%} \cdot 32 + \text{nitrogén tf\%} \cdot 28}{100} = \frac{21 \cdot 32 + 79 \cdot 28}{100} = 28,84 \text{ g/mol}$$

2. A hordozógáz száraz normálállapotra vonatkoztatott sűrűsége [p_{szN}] kg/m³-ben:

$$p_{szN} = \frac{M \cdot p_0}{R \cdot T_0} : 1000 = \frac{28,84 \cdot 101325}{8,3143 \cdot 273} : 1000 = 1,2875 \text{ kg/m}^3$$

3. A nedves hordozógáz normálállapotra vonatkoztatott sűrűségét (ρ_{nN}) kg/m³-ben:

$$p_{nN} = \frac{p_{szN} + f_N}{1 + \frac{f_N}{0,804}} = \frac{1,2875 + 0,0055}{1 + \frac{0,0055}{0,804}} = 1,2841 \text{ kg/m}^3$$

4. A hordozógáz aktuális sűrűségét kg/m³-ben (ρ_n) a mérési pontban mért állapotjelzők alapján:

$$p_n = p_{nN} \frac{T_0 \cdot p_{összes}}{T_{közeg} \cdot p_0} = 1,2841 \frac{273 \cdot 101138}{294,3 \cdot 101325} = 1,1889 \text{ kg/m}^3$$

5. Helyi gázsebesség kiszámítása Prandtl csöves mérés esetén:

Mérési pontok sorszáma	1.	2.	3.
P _{dinamikus} [Pa]	4,8	4,2	5,5

$$c_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{di}}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,8}{1,1889}} = 2,8416 \text{ m/s}$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{di}}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,2}{1,1889}} = 2,6581 \text{ m/s}$$

$$c_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{di}}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,5}{1,1889}} = 3,0418 \text{ m/s}$$

$$c_{\text{átl}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ni}}{n} = \frac{2,8416 + 2,6581 + 3,0418}{3} = 2,8505 \text{ m/s}$$

6. A mérési szelvényen átfogató térfogatáram (q_n) m³/s-ban:

$$q_n = A \cdot c_{\text{átl}} = 0,02407 \cdot 2,8505 = 0,0686 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ugyanez a térfogatáram m³/h-ban:

$$q_N = A \cdot c_{\text{átl}} \cdot 3600 = 0,02407 \cdot 2,8505 \cdot 3600 = 247,0015 \text{ m}^3/\text{h}$$

7. A mérési szelvényen átfogató térfogatáram fizikai normálállapotban (q_{nN}) m³/s-ban:

$$q_{nN} = q_n \frac{T_0 \cdot p_{\text{össz}}}{p_0 \cdot T_{\text{közeg}}} = 0,0686 \frac{273 \cdot 101138}{1013,25 \cdot 294,3} = 0,0635 \text{ m}^3/\text{s}$$

8. Normálállapotra vonatkoztatott száraz térfogatáram a mérési keresztmetszetben m³/s-ban (q_{szN}):

$$q_{szN} = \frac{q_{nN}}{1 + \frac{f_N}{0,804}} = \frac{0,0635}{1 + \frac{0,0055}{0,804}} = 0,0631 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3. Sósavemisszió meghatározása

Az MSZ 21853-31:1998 számú „Légszennyező források vizsgálata. A sósavemisszió meghatározása” elnevezésű szabvány írja le a mérés pontos menetét.

A módszer elve nem más, mint a gázhalmazállapotú kloridokat tartalmazó főgázáramból, részgázáram leszívása fűtött szondán keresztül. A részgázáramból a szilárd légszennyező anyagok porszűrővel való leválasztása és a szűrőn áthaladó kloridok desztillált vizes megkötése. Végül pedig az elnyelő oldatok kloridtartalmának meghatározása.

A PVC égetési kísérletek megkezdése előtt analitikai mérleggel a kiválasztott minta bemérését végeztem el. (16. ábra)



16. ábra: Analitikai mérleg
forrás: saját felvétel

A mérlegelés után elszívó fülke alatt, bunsen égő alkalmazásával, vas harapófogóval megfogva kezdtem meg a minták irányított égetését. (17.ábra)



17. ábra: A PVC minta égetése
forrás: saját felvétel

A szakaszos mintavétel során az elnyelő abszorpciós oldatként a mintavételi szondában ismert térfogatú desztillált víz volt, amely alapján a PVC égetéséből származó klorid-ion meghatározása történt.

A mérés kezdetekor feljegyeztem a gázóra állását, majd 30 percen keresztül szivattyú

segítségével füstgázt áramoltattam az elnyelető oldaton keresztül, ahol a hidrogén-klorid gáz megkötődött. (18. ábra)



18. ábra: A véggázmintavevő kör
forrás: saját felvétel

A mérés végeztével újra leolvastam a gázóra állását. A sósavat tartalmazó elnyelető oldattal a következő feladat a laboratóriumi feldolgozás volt.

A laboratóriumban higany-tiocianátos fotometriás meghatározás történt.

A sósav koncentráció meghatározásához szükséges kalibrációs egyenes felvételéhez 2; 5; 10; és 15 cm³, 0,01 mg/cm³ koncentrációjú nátrium-klorid-oldatot 50 cm³-es mérőlombikba pipettáztam. Egy 50 cm³-es mérőlombikba a mintázóoldat készítése céljából nem adtam nátrium-klorid-oldatot. A többi mérőlombikba a következő oldatokat adtam:

- 0,1 cm³ higított salétromsav
- 8 cm³ vas(III)-ammónium-szulfát-oldat
- 4 cm³ higany-tiocianát-cianid.

Ez 0 mg/l; 0,4 mg/l; 1 mg/l; 2 mg/l és 3mg/l koncentrációjú oldatokat eredményezett. A

mérőlombikokat desztillált vízzel jelig töltöttem és homogenizáltam.

A homogenizálás után 20 múlva képződött a fotometrálnálható szín. Ezáltal a kalibrációs egyenes előkészítését elvégeztem.

A minta kloridion-tartalmának meghatározása az S_m (minta) és az S_v (vak) mintaoldatok azonos térfogatú alikvot részét 50 cm^3 -es mérőlombikokba pipettáztam, majd a kalibrációs egyenes elkészítéséhez is már használt, ismertetett oldatokat a feltüntetett sorrendben és mennyiségben adagoltam. Jelig töltés és homogenizálás után 20 perc várakozást követően megtörtént a fotometrálnálható színeképződés. (19. ábra)



19. ábra: A feltárt minták

forrás: saját felvétel

Az oldatok extincióját a 460 nm hullámhosszon, a vakoldattal szemben mértem a 3.2.2. fejezetben ismertetett UV-VIS spektrofotometriás eljárás alkalmazásával.

A mintaoldatban lévő sósav mennyiségét (M) mg -ban a következő képlet segítségével számoltam ki:

$$M = c_{\text{Cl}} \cdot \frac{V \cdot V_3}{V_2} \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

ahol, V_1 : az S_m mintaoldat térfogata [cm^3];

V_2 : az S_m és S_v oldatoknak az elemzéshez kivett azonos térfogatú alikvot része [cm^3];

V_3 : az S_m és S_v oldatok alikvot részének feldolgozásakor kapott oldat térfogata [cm^3];

c_{Cl} : az S_m mintaoldatokban mért kloridion koncentrációja [mg/l].

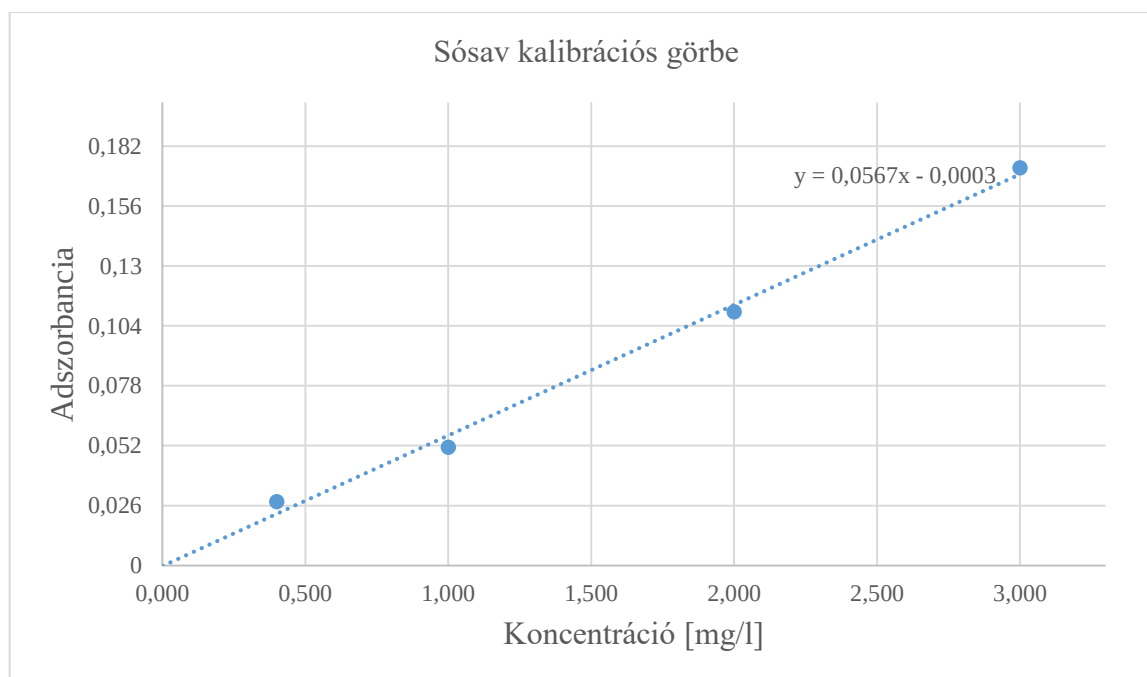
A kalibráló oldatsorozat (10. táblázat) segítségével meghatároztam az abszorbancia koncentrációfüggését.

10. táblázat: Sósav kalibrációs mért értékei

forrás: saját összeállítás

Mérési pont	Koncentráció [mg/l]	Abszorbancia értéke 460 nm hullámhosszon
Standard 1	0,000	-0,0008
Standard 2	0,400	0,0215
Standard 3	1,000	0,0651
Standard 4	2,000	0,1172
Standard 5	3,000	0,1831

Ennek eredményeként előállt a kalibrációs görbe (20. ábra), amely alakja egyenes, mivel követi a Lambert-Beer törvényt. Az eljárás pontossága numerikus módszerek számítógépes alkalmazásával (lineáris regresszió) nagymértékben növelhető.



20. ábra: Sósav kalibrációs görbe

forrás: saját összeállítás

Ezt követően az vizsgálandó oldat mérését teljesen azonos módon elvégeztem, melynek abszorbancia értéke 0,2572 (y) a 460 nm-es hullámhosszon.

A sósav kalibrációs egyenes felvételénél lineáris regressziót alkalmaztam, melynek egyenlete az 20. ábrán is látható. A lineáris regresszió egyenletéből az „x”-et kifejezve megkaptam a sósav koncentrációját.

A lineáris regresszió egyenlete:

$$y = m \cdot x + b \quad (11)$$

ahol, y: a vizsgálandó oldat mért abszorbanca értéke;

A mintaoldat sósav koncentrációja:

$$0,2572 = 0,0567 \cdot x - 0,0003$$

$$x = 4,54 = c_{Cl}$$

4.4. Felszabaduló sósav tömegárama

A sósav tömegáramának kiszámításához szükséges adatok a 11. táblázatban kerültek feltüntetésre.

11. táblázat: A felszabaduló sósav tömegáramának meghatározásához szükséges adatok

forrás: saját összeállítás

Adatok	
Átszívott O ₂	21 t/f%
Nyomás [p]	1016 mbar
Mintaoldat sósav koncentrációja [c _{Cl}]	4,54 mg/l
Gázóra induló értéke [V _i]	28,146 m ³
Gázóra végértéke [V _v]	28,150 m ³
Gázóra üzemi hőmérséklete [T _g]	19 °C
Gázóra üzemi nyomása [p _g]	-32 mbar
PVC minta bemért tömege [m _b]	30,42 g
PVC minta visszamaradt tömege [m _v]	27,96 g
T ₀	273 K
Minta térfogata [V _{minta}]	50 ml

1. Az égés során keletkezett anyagveszteség:

$$m_{\text{veszteség}} = m_b - m_v = 30,42 - 27,96 = 2,46 \text{ g}$$

2. Az átszívott gáz térfogata:

$$V_{\text{gáz}} = (V_v - V_i) \cdot \frac{273}{101325} \cdot \frac{(\rho \cdot 100 + p_g \cdot 100)}{273 + T_g} = (28,150 - 28,146) \cdot \frac{273}{101325} \cdot \frac{1016 \cdot 100 + (-32) \cdot 100}{273 + 19} = 0,0063 \text{ Nm}^3$$

3. Az emittált sósav tömegárama:

$$\rho_N = \frac{c_{Cl}}{V_{\text{minta}}} \cdot 0,1 \cdot \frac{V_{\text{minta}}}{100} = \frac{4,54}{0,00363} \cdot 0,1 \cdot \frac{50}{100} = 62,53 \text{ mg/Nm}^3$$

4.5. Illékony szerves anyagok mintavétele

A PE és PS égetése során felszabaduló komponensek mintavételére és a megkötött komponensek vizsgálatára az MSZ EN 13649:2002 „Helyhez kötött légszennyező források emissziója. Az egyedi, gázállapotú szerves vegyületek tömegkoncentrációjának meghatározása. Aktív szén és oldószer-deszorpciós módszer” elnevezésű európai szabványt utasításait követtem.

Az említett szabvány az oldószeres folyamatok során keletkező, illékony szerves vegyületek aktív szénre való mintavételét, illetve a minták előkészítését és elemzésének eljárásait írja le.

Az egyedi gázállapotú szerves vegyületek mérése három lépésből áll, amelyek a következők:

- mintavétel a véggázból;
- a mintaként vett anyag kezelése;
- gázkromatográfiás elemzés.

A véggázból történő mintavétel során törekedni kell arra, hogy az ismert térfogatú gázban lévő szerves vegyületek az aktív szénen megkötődjenek, valamint a mérést zavaró szilárd részecskéket eltávolításra kerüljenek, a víz kondenzációja pedig ne történhessen meg.

A mintavevő kör kialakításánál több szempontnak eleget kell tenni. Ez azt jelenti, hogy a mintavevő a véggáz jellemzőihez kell illeszkedni, így olyan anyagból kell készülni, amely a véggáz összetevőivel szemben kémiai és fizikailag inert (pl.: rozsdamentes acél, üveg stb).

A mintavevő kör műszerei:

- előszűrő/mintavevő szonda,
- mintavezeték,
- aktív szénrel töltött szorpciós cső,
- szabályozószelep,
- szivattyú,
- térfogatomérő eszköz.

A következő bekezdésben a PE és PS minták laboratóriumi körülmények között történő irányított égetése során felszabaduló füstgáz komponensek megkötését mutatom be.

A levegő szennyezőinek megkötésére a szerves adszorbensek közül a különböző fajlagos felületű aktívszenek a legtöbbet alkalmazottak. Az aktív szénrel, üveggyapottal és szűrővel töltött üvegcső alkalmas az általam keresett gáz halmazállapotú szerves anyagok megkötésére. Így vizsgálat során a szondába nagy fajlagos felületű aktívszenet tartalmazó üvegcsövet használtam. Az alkalmazott üvegcsövet a 22. ábra szemlélteti.



22. ábra: SKC Anasorb CSC üvegcső
forrás: saját felvétel

A bemutatott üvegcsövet a kéményen kialakított mintavételi csokon keresztül a füstgáz útjába helyeztem.

A vakminta felvétele céljából a mérés helyszínén kihelyeztem egy feltört adszorb csövet, amely a minták égetése előtti környezeti levegő mintavételére szolgált.

A vakminta elkészítése után következett a PE minta égetése és az általa kibocsátott füstgáz megkötése. (23. ábra) A mérés kezdetekor feljegyeztem a gázóra állását, majd 30 percen keresztül szivattyú segítségével levegőt áramoltattam az üvegcsövön keresztül. Harminc perc elteltével leolvastam a gázóra állását, majd az üvegcsövet felcímkéztem.



23. ábra: A polietilén minta égetése
forrás: saját felvétel

A leszívást AirChek XR5000 típusú mintavevő szivattyúval végeztem 2 liter/perc áramlási sebességen, mely 25 percig tartott.

Az eljárást megismételtem a PS mintát égetve is, melyet a laboratóriumi minta feltárás és GC-elemzés követett. (24. ábra)



24. ábra: A polisztirol minta égetése és mintavétele

forrás: saját felvétel

A három minta (vak, PE, PS) leoldása a következőképp történt.

Először a szorpciós csöveket üvegvgó alkalmazásával felnyitottam, majd tartalmukat egy-egy üvegfiolába töltöttem. Az aktív szénen adszorbeálódott szerves komponensek deszorpcióját ismert mennyiségű szén-diszulfid (CS_2) oldattal elvégeztem. Belső standardként izotóp jelzett C_{12} -t (dodekánt) használtam. A deszorpció végbemeneteléhez 20 perc várakozási időt biztosítottam.

A feltárt mintákat lángionizációs gázkromatográf (GC) elemeztem.

A kromatográfiás oszlopba állandó sebességgel vivőgázt bevezetését követően a vivőgázáramba beadagoltam a vizsgálandó mintát ($1 \mu\text{l}$ / minta). A vizsgálandó elegy a vivőgázzal a kolonnába jutott, ahol komponensei a vivőgáz eluáló hatására, kötőképességüktől függően, különböző sebességgel haladtak előre. A megfelelő töltet és elegendő hosszú oszlop miatt a minta teljesen szétvált, alkotórészei egymás után jelentek meg a vivőgázban. A kolonnából kilépő vivőgázt detektoron átvezetve, az egyes komponensek megjelenésekor az alkotórészek mennyiségével arányos jelet mutatott. A detektorban kapott jel regisztrálóberendezés segítségével grafikusán ábrázolva lett, melynek során megkaptam a mintára jellemző kromatogramot. A kromatogramon látható csúcsok helyéből a komponensek minőségi azonosítása, míg a csúcsmagasság és a haranggörbe alatti terület alapján mennyiségi értékelés történt.

A kromatográfiás alkalmazott körülményei:

- Készülék típusa: Agilent Technologies 6890N Network GC System
- Kolonna típusa: Restek Rtx®-1 30m 0,53 mmID 3µm
- Mód: Splitless
- Gáz: H₂
- Injektálási hőmérséklet: 250 °C
- Fűtési program: Minta injektálását követően 35 °C-on 5 percig tartja, majd 30 °C/perc fűtési sebességgel 250 °C-ra fűti a készülék a kolonna teret, ahol 1 percig tartja a hőmérsékletet.

A Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főosztály Környezetvédelmi Mérőközpont akkreditálási státuszáról a MSZ EN ISO/IEC 17025:2018 számú szabvány rendelkezik. A szabvány alapján a Mérőközpont akkreditálási státuszát a benzol, toluol és etil-benzol aromás szénhidrogénekre az MSZ-13-125:1986 számú módszer mérési azonosító adja meg. [35]

A metanol és sztirol komponenseket korábban nem mérte még a laboratórium, így ezen komponensek kalibrációját én végeztem el.

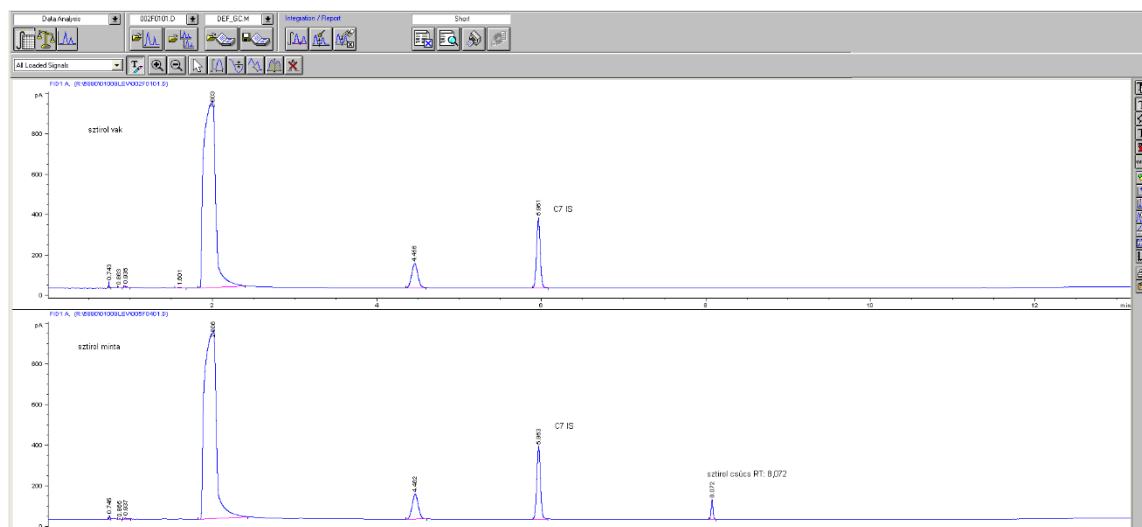
A Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatal Környezetvédelmi és Természetvédelmi Főosztály Környezetvédelmi Mérőközpont akkreditált státusszal rendelkezik a MSZ EN ISO/IEC 17025:2018 számú szabvány szerint. A Mérőközpont minőségügyi dokumentációja többek között a vizsgálandó mintáinkból felszabaduló egyes komponensek vizsgálati körét is tartalmazza. Mely NAH honlapján elérhető NAH-1-1275/2019 nyilvántartási számon. Így az alábbi komponensekre vonatkozóan teljes körű kidolgozott validált és verifikált módszerekkel rendelkezik:

- sztirol (MSZ-13-185:1990),
- benzol (MSZ-13-120:1986),
- toluol (MSZ-13-120:1986),
- etil-benzol (MSZ-13-120:1986),
- metanol (nem akkreditált komponens). [35]

Mivel gyakorlatom céljai között szerepel emittált komponensek meghatározásának teljes bemutatása, ezért egy választott komponensre dolgozatban a mennyiségi azonosítás során alkalmazott külső kalibrációs módszer belső standard jelkorrekcióval történő számítási menetét is végig veszem.

Méréseimhez a korábban említett módon a Mérőközpont által felállított kalibrálásokat alkalmaztam, kivéve sztirol esetén. Minőségi azonosítás során komponensek retenciós idejét hasonlítottam össze kalibrációban szereplő komponensek retenciós idejével. Az 25. ábra szemlélteti a vakminta és a sztirol standard kromatogramjai retenciós idejének összehasonlítását. A két

kromatogram (25. ábra) között egyértelmű különbséggént látszik az alkalmazott sztirol standard esetében retenciós idő 8,072 retenciós időnél megjelenő csúcs. Ez képezi a továbbiakban a mintákra vonatkoztatva a sztirol minőségi azonosítását.



25. ábra: Vakminta és sztirol standard kromatogramja

forrás: saját felvétel

Mennyiségi azonosításhoz, pedig az említett külső kalibrációs módszert alkalmaztam belső standard jelkorrekcióval.

Gyakorlati szempontból esett a választásom a sztirol komponensre, ugyanis ettől a komponenstől vártam a nagyobb koncentrációban való megjelenést az emittált gázban.

Továbbá, a korábban alkalmazott belső standard (C7) helyett C12 belső standardot alkalmaztam vizsgálataimhoz a sztirol esetén.

A belső standard módszer elve, hogy a vizsgálandó mintához olyan anyag adagolása, amelyet a minta nem tartalmaz, de jól elváló jelet ad, és ehhez viszonyítjuk a mintakomponensek által szolgáltatott jeleket. Előzetesen meg kell határozni a minta-komponensek belső standardra vonatkozó relatív érzékenységet. [33]

A sztirol kalibráció felvételét a következőkben részletezem.

A kalibráció során a deszorpcióval 5 ml alikvot mennyiségű oldószert használtam egységnyi mennyiségként. Így eredményeket [mg/minta] mértékegységben kaptam meg. Oldószerként szén-diszulfidot használtam, mind a kalibrációnál, mind a minták feldolgozásánál.

Először is elkészítettem a kalibráció felvételéhez kiindulásként a mérendő sztirol komponensből és a C12 belső standardból is egy törzsoldatot.

12: táblázat: Sztírol kalibrációs alapadatok

forrás: saját összeállítás

Adatok	
Sztírol törzs oldat elméleti koncentrációja	2,5 mg/ml
C12 törzs oldatnak elméleti koncentrációja	1 mg/ml
Sztírol tömege [$m_{\text{sztírol}}$]	25,9 mg
C12 tömege [m_{12}]	10,01 mg
sztírol törzs oldat	2,59 mg/ml
C12 törzs oldat	1,00 mg/ml

Ezekből a törzs oldatokból MSZ-13-185:1990 szabvány szerint az alábbi kalibrációs sort készítettem el, a koncentrációknak megfelelő mennyiségű komponensek Hamilton fecskendővel kalibrációs mintákhoz való adagolással.

Az 26. ábra szemlélteti kalibrációs pontok kromatogramjait. A sztírol retenciós idejénél (8,072) koncentráció növekedésének függvényében egyre növekvő intenzitású jel nagyság figyelhető meg.



26 ábra: Kalibrációs pontok kromatogramjai

forrás: saját felvétel

A kromatogramok sztírol csúcs alatti területeinek kalibrációs pontokra vonatkoztatott értékeit a 13. táblázat tartalmazza. A 14. táblázat pedig sztírol dodekán standardra (C12) vonatkoztatott koncentráció hányadosát mutatja be.

13. táblázat: Kalibrációs pontok tényleges koncentrációihoz tartozó területértékek sztirol és C12 belső standard esetén, forrás: saját összeállítás

		Elméleti koncentráció [mg/minta]	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	1	Vak	Minden mintára
Komponens neve	Retenció idő	Tényleges koncentráció bemérés alapján [mg/minta]	0,0052	0,0104	0,0259	0,0518	0,1036	1,0358	0	c IS C12
sztirol (A _i)	8,07	Kromatogram területérték	32,2	61,4	127,6	275,9	596,3	5897	0	Koncentráció [mg/minta]
c12 (A _s)	10,02	Kromatogram területérték	1048	1089	1078	1056	1124	1102	1058,2	
		Sztirol (A _i /A _s)	0,0307	0,0564	0,1184	0,2613	0,5305	5,3512		0,2

14. táblázat: Sztirol névleges és tényleg koncentrációja C12 belső standard koncentrációjára vonatkoztatva, forrás: saját összeállítás

sztirol	IS: heptán						
ci/c _{IS} névleges		0,025	0,05	0,125	0,25	0,5	5
ci/c _{IS} tényleges		0,025895	0,05179	0,129474	0,258948	0,517896	5,178964

13. és 14. táblázat eredményeit felhasználva az alábbi módon határozható meg a relatív érzékenység:

$$f_i = (A_i/A_s) \cdot (m_s/m_i), \quad (12)$$

ahol, f_i : az összefüggés iránytangense

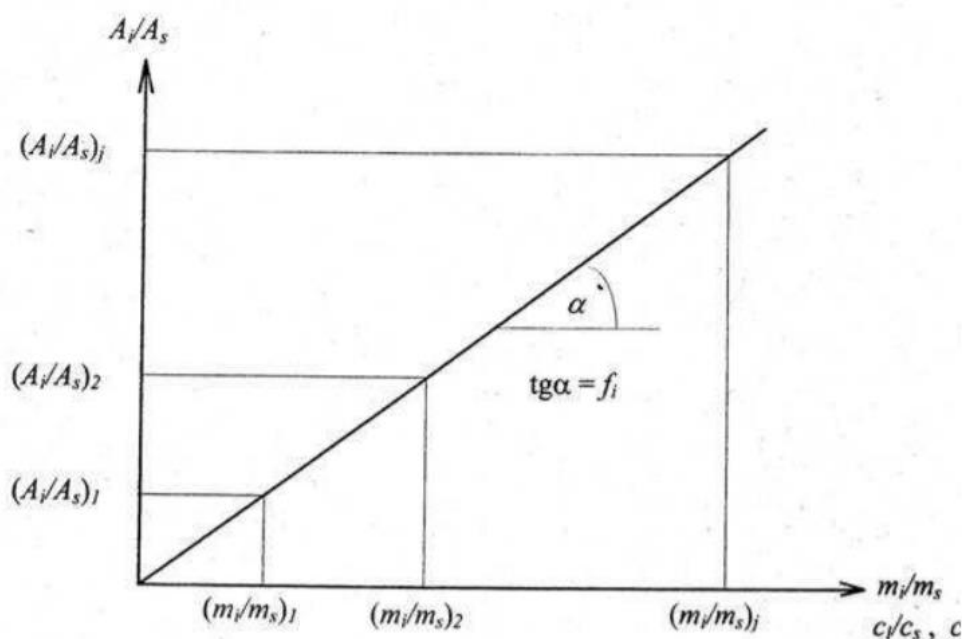
A_i : az i -edik komponenshez tartozó jelérték

A_s : a belső standardhez tartozó jelérték

m_i : az i -edik komponenshez tartozó mennyiségi jellemző (c_i : i -edik komponens koncentrációja)

m_s : az belső standerhez tartozó mennyiségi jellemző (c_s : belső standard koncentrációja)

A képlet egyben megadja kalibrációs összefüggés iránytangensét. (27. ábra) [33]



27. ábra: Relatív érzékenység meghatározása [33]

A táblázat eredményeit ábrázolva a 28. ábra összefüggését kapjuk.

$$\text{Íránytangens: } f(x) = 1,033 \cdot x$$

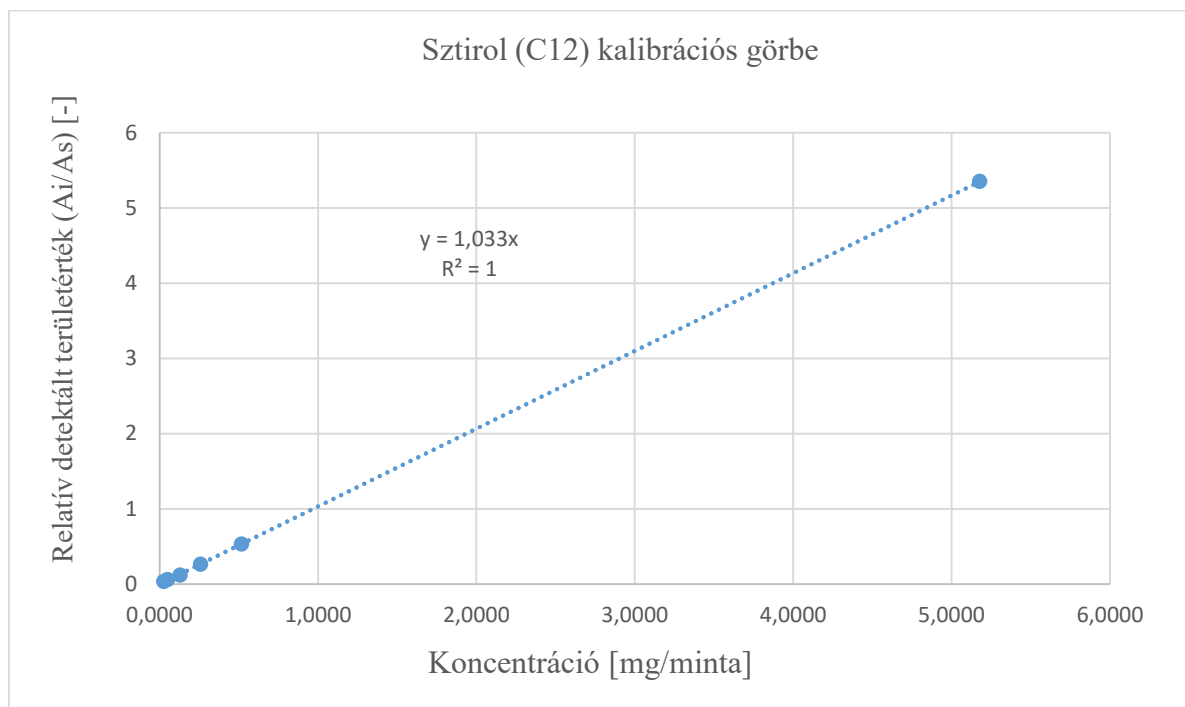
A vizsgált mintában:

- a sztirol komponens területértéke: 76 (A_i)
- a C12 komponens területértéke: 1518 (A_s)

$$f(x) = (A_i/A_s) \frac{76}{1518} = 0,05$$

$$x(c_i/c_s) = f(x)/1,033 = \frac{0,05}{1,033} = 0,0484 \sim 0,05$$

$$c_i = x \cdot c_s = 0,05 \cdot 0,2 = 0,01 \text{ [mg/minta]}$$



28. ábra: Sztírol kalibrációs görbe

forrás: saját összeállítás

A levegőmintában lévő vegyületek koncentrációját mg/m^3 -ben az alábbi egyenlet alkalmazásával határoztam meg az MSZ EN 13649:2002 számú szabvány alapján:

$$c_i = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} \cdot 1000 \quad (13)$$

ahol, c_i : a gázmintában lévő i-edik vegyület koncentrációja [mg/m^3];

m_i : a gázmintában lévő i-edik vegyület tömege [mg];

V_{cor} : a minta térfogata literben, normálállapotban (273 K és 1013 hPa), száraz gázra vonatkoztatva.

A normálállapotban lévő minta koncentrációjának kiszámítása az alábbi egyenlet alapján történik:

$$V_{\text{cor}} = V * \frac{p_0}{p} * \frac{T}{T_0} \quad (14)$$

ahol, V: a száraz véggázminta mért térfogata [l];

p: a mintavételi levegő nyomása [hPa];

p₀: 1013 hPa;

T: a véggázminta tényleges hőmérséklete [K];

T₀: 273 K.

4.6. A PE minta égetése során felszabaduló komponensek tömegárama

A polietilén minta tömegáramának kiszámításhoz az alapadatokat a 15. táblázat tartalmazza.

15. táblázat: A PE minta tömegáramának meghatározásához szükséges alapadatok

forrás: saját összeállítás

Adatok	
Száraz véggázminta mért térfogata [V]	50 l
Mintavételi levegő nyomása [p]	1011,38 hPa
p ₀	1013 hPa
T ₀	273 K
Véggázminta tényleges hőmérséklete [T]	292 K
m _{benzol}	0,0050 mg
m _{toluol}	0,0010 mg
m _{etil-benzol}	0,0070 mg
m _{metanol}	0,0360 mg

A minta térfogata (V_{cor}) literben, normálállapotban (273 K és 1013 hPa), száraz gázra vonatkoztatva:

$$V_{\text{cor}} = V * \frac{p_0}{p} * \frac{T}{T_0} = 50 * \frac{1013}{1011,38} * \frac{292}{273} = 53,5655 \text{ l}$$

A levegőmintában lévő vegyületek (benzol, toluol, etil-benzol, metanol) koncentrációja mg/m³-ben:

1. Benzol

$$c_{\text{benzol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} * 1000 = \frac{0,0050}{53,5655} * 1000 = 0,0933 \text{ mg/m}^3$$

2. Toluol

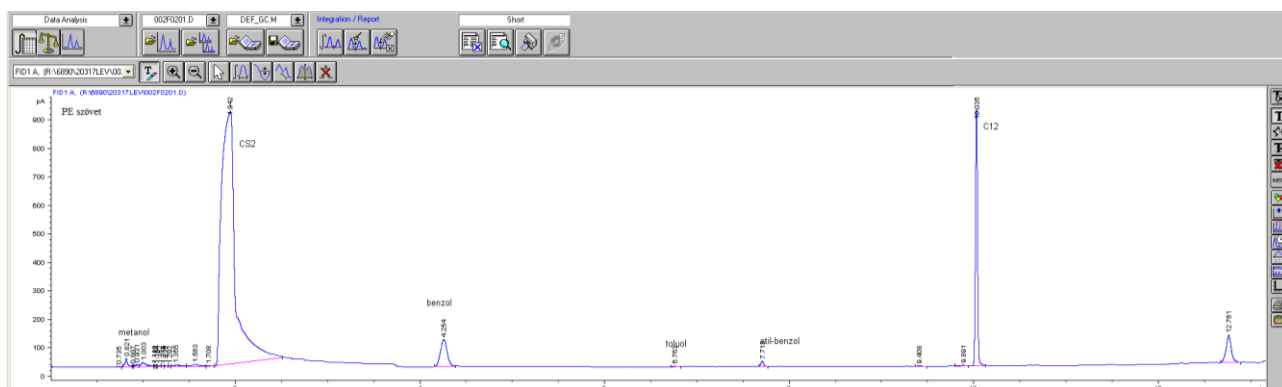
$$C_{\text{toluol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} * 1000 = \frac{0,0010}{53,5655} * 1000 = 0,0187 \text{ mg/m}^3$$

3. Etil-benzol

$$C_{\text{eti-benzol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} * 1000 = \frac{0,0070}{53,5655} * 1000 = 0,1307 \text{ mg/m}^3$$

4. Metanol

$$C_{\text{metanol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} * 1000 = \frac{0,0360}{53,5655} * 1000 = 0,6721 \text{ mg/m}^3$$



29. ábra: A polietilén kromatogramja

forrás: saját felvétel

A fenti kromatogramon (29. ábra) jól láthatók az azonosított szennyezők.

4.7. A PS minta égetése során felszabaduló komponensek tömegaránya

A PS minta tömegarányának meghatározásához a 16. táblázatban kerültek az alapadatok feltüntetésre.

16. táblázat: A PS minta tömegarányának meghatározásához szükséges alapadatok

forrás: saját összeállítás

Adatok	
Száraz véggázminta mért térfogata [V]	50 l
Mintavételi levegő nyomása [p]	1011,38 hPa
p ₀	1013 hPa
T ₀	273 K
Véggázminta tényleges hőmérséklete [T]	292 K
m _{benzol}	0,0030 mg
m _{toluol}	0,0010 mg
m _{sztiroil}	0,0100 mg

A minta térfogata (V_{cor}) literben, normálállapotban (273 K és 1013 hPa), száraz gázra vonatkoztatva:

$$V_{\text{cor}} = V \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T}{T_0} = 50 \cdot \frac{1013}{1011,38} \cdot \frac{292}{273} = 53,5655 \text{ l}$$

A levegőmintában lévő vegyületek (benzol, toluol, sztirol) koncentrációja mg/m^3 -ben:

1. Benzol

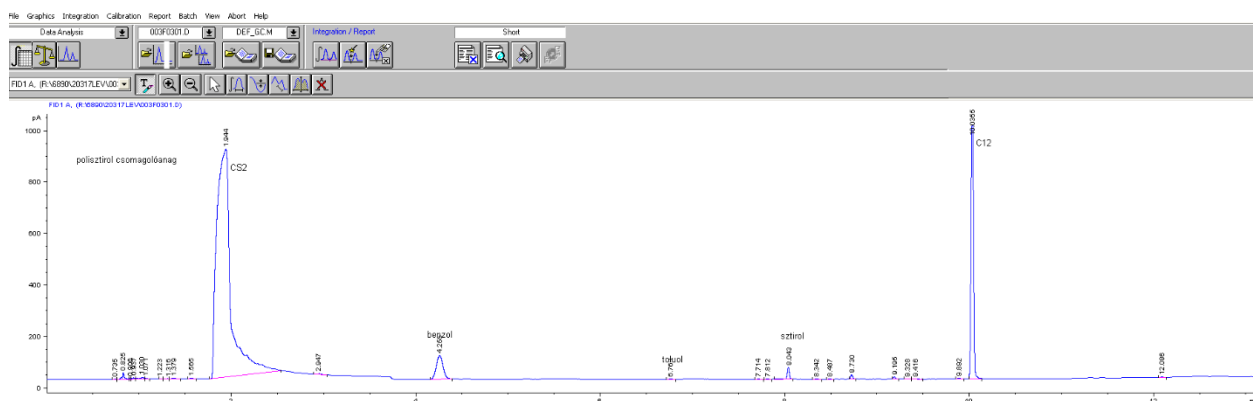
$$c_{\text{benzol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} \cdot 1000 = \frac{0,0030}{53,5655} \cdot 1000 = 0,0560 \text{ mg/m}^3$$

2. Toluol

$$c_{\text{toluol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} \cdot 1000 = \frac{0,0010}{53,5655} \cdot 1000 = 0,0187 \text{ mg/m}^3$$

3. Sztírol

$$c_{\text{eti-benzol}} = \frac{m_i}{V_{\text{cor}}} \cdot 1000 = \frac{0,0100}{53,5655} \cdot 1000 = 0,1867 \text{ mg/m}^3$$



30. ábra: A polisztirol kromatogramja

forrás: saját felvétel

A fenti kromatogramon jól láthatók az azonosított szennyezők. Dolgozatom 1. fejezetében már említést tettem általánosságban a műanyagok égése során keletkező égéstermékek veszélyeiről. A következő táblázatban az általam végzett vizsgálatokkal kimutatott égéstermékek egészségkárosító hatásait mutatom be.

17. táblázat: Vizsgált mintákból kimutatott égéstermékek egészségkárosító hatásai

forrás: saját összeállítás mérési eredmények és [36] adatai alapján

Vegyület megnevezése	Egészségkárosító hatása
Benzol	Rákkeltő, károsan hat a csontvelőre, a májra, az immunrendszerre.
Etil-benzol	Rákkeltő, károsítja a központi idegrendszert és az immunrendszert.
Metanol	Idegmég és májkárosító hatása is van.
Sósav	Maró hatású a szemre, a bőrre és a légzőszervekre.
Sztírol	Irritálja a szemet. Hatással lehet a központi idegrendszerre, csökkenti a tudati szintet és rontja a tanulási képességet.
Toluol	Szem és légzőszervi irritációt, továbbá depressziót okoz.

5. Összefoglalás

Dolgozatomban a meghatározott célkitűzéseknek megfelelően végeztem kutatási feladataimat. Szakirodalmi áttekintés keretében világítottam rá az általam választott téma aktualitására és fontosságára. Az illegális hulladékégetés egyre nagyobb mértékű problémát jelent, mind környezetvédelmi, mind az egészségkárosító hatások tekintetében.

A teljes hulladékspektrum vizsgálata meghaladta volna jelen dolgozat terjedelmi korlátait, ezért égetései kísérleteim és laboratóriumi vizsgálataim során a műanyagokra fókuszáltam. Első lépésként fizikai, kémiai jellemzőiket tekintettem át, majd a keletkező hulladékmennyiségek alakulását mutattam be. Vizsgáltam a háztartásokban leggyakrabban előforduló hulladékfajtákat, majd azok közül kiválasztottam laboratóriumi vizsgálatok céljára a polisztirolt (PS), a poli(vinil-klorid)-ot (PVC) és a polietilént (PE).

Irányított tűzkísérlet során a kiválasztott minták égetését, majd az emittált füstgáz minőségi és mennyiségi elemzését végeztem el. A keletkező füstgáz mintavételét és a minták elemzését a vonatkozó MSZ szabványnak megfelelően készítettem el. A minták előkészítése deszorpció, elemzése GC-FID módon történt. A mennyiségi azonosítás során külső kalibrációs módszert alkalmaztam belső standard jelkorrekcióval.

Elvégzett munkám során sikerült azonosítani a mintákból az égés során felszabaduló káros anyagok egy részét, valamint meghatározni egységnyi elégetett tömegre vonatkoztatva azok felszabaduló mennyiségét. A PVC égetésekor keletkező egészségkárosító anyagok közül legnagyobb mennyiségben sósav szabadult fel. A PE csomagolóanyag égetése különböző rákkeltő anyagok (pl.: benzol, toluol, metil-alkohol) környezeti levegőbe való kibocsátását eredményezte. A PS hulladékként való égetése során pedig jelentős mennyiségű sztírol monomerje került a levegőbe.

A mérési eredmények kiértékelését követően igazolható, hogy a vizsgálati részben vett műanyagok nem szabályozott körülmények között, nem égetőben történő elégetése során keletkező füstgáz számos egészségre és környezetre ártalmas komponenst tartalmaz.

6. Javaslatok

A vizsgált műanyagokból különböző mennyiséget elégetve és a keletkező légszennyező komponensek mennyiségét megmérve bizonyítást nyert, hogy a PVC, a PE és a PS égetésekor nagy mennyiségben sósav, benzol, toluol, sztirol és különféle dioxinok keletkeznek, ezért ezek elégetését a háztartási fűtőeszközökben és a szabadtéren is feltétlenül akadályozni kell.

A korábbiakban már említett, „Lakossági hulladékégetési szokások Magyarországon” című felmérésben a válaszadók többsége az ismerethiányt, a felelőtlenséget és a szegénységet együtt tekinti a szabálytalan lakossági hulladékégetés fő okának. [21]

A tevékenységgel szemben már széleskörű szemléletformálással is lehet bizonyos eredményeket elérni, hiszen valamennyi környezetvédelmi ügy sikerének egyik fő meghatározó eleme a nyilvánosság. Ez segít abban, hogy minél többen tudjanak az adott tevékenység következményeiről, jelen esetben az égetés emberi egészségre és az ökoszisztémára gyakorolt káros hatásairól. Emellett fontos az égetésre vonatkozó konkrét szabályok és a hulladékkezelési lehetőségek ismertetése. Az összefüggéseket jobban átlátva, létrejön egy nagyobb egyéni felelősségvállalás, mely támogatja a szabályos hulladékkezelést.

Ezen tudatos életforma erősítése különböző kampányok készültek, felvilágosítási célból. Például a 2018-ban készült „Ne gyűjtsa! Gyűjtse!” kampány keretein belül, a katasztrófavédelem munkatársai felhívják a figyelmet a hulladékégetés veszélyeire, valamint a szelektív hulladékgyűjtés fontosságára.

Felvilágosítást nyújtanak arról, hogy a környezetre és egészségre gyakorolt károkon túl, jelentős anyagi kár is keletkezik. Az égetés melléktermékeként keletkező korom lerakódik a házak kéményében, ami hő hatására meggyulladhat. Ezáltal tüzesetek és személyi sérülések is gyakran keletkeznek. A kampány aktivistái lakossági fórumokon és iskolai tanórákon beszélnek arról, hogy a jogszabályok betartásával, öngondoskodással és tudatos szelektív hulladékgyűjtéssel nemcsak levegő minősége óvható, hanem a talajszennyezés is elkerülhető. Célközönségük az iskoláskorú gyermekek csoportja, hiszen a diákok a megszerzett ismereteket átadják társaiknak és felhívják szüleik figyelmét is a helyes magatartásra. [37]

Fontos még, a hulladékégetés szociális okának, a hagyományos tüzelőanyag beruházási költségének elkerülése ellen hozott intézkedések megemlítése. Különböző fűtési támogatások nyújthatók a hagyományos tüzelőanyag vásárlási költségek csökkentésére, amely jelentős terhet vesz le nem csupán rászorulókról, hanem a nagycsaládosokról is. [21]

Az élet védelme és a környezet biztonságának megóvása mindenki érdeke, mely csak apró odafigyelést igényel.

7. Felhasznált irodalom

- [1] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000306.kor> (Hozzáférés dátuma: 2022.02.20.)
- [2] <https://www.levego.hu/kampanyok/tisztafutes/> (Hozzáférés dátuma: 2022.02.20.)
- [3] <https://acp.copernicus.org/preprints/acp-2020-672/acp-2020-672.pdf> (Hozzáférés dátuma: 2022.02.20.)
- [4] http://www.futsokosankampany.hu/uploads/download_category/documents/MuploadDocument_31/1_Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_OKI_2016.pdf (Hozzáférés dátuma: 2022.02.20.)
- [5] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200185.tv> (Hozzáférés dátuma: 2022.02.20)
- [6] https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/14_1214_015_101115.pdf (Hozzáférés dátuma: 2022.02.28.)
- [7] Dr. Tóth A. (2017). Biológia 12. Eszterházy Károly Egyetem Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet. Eger
- [8] Dr. Pukánszky B., Dr. Móczó J. (2011). Műanyagok. Typotex Kiadó. Budapest [9] dr. Pál K. (1998/16). Műanyag hulladékok égetése. Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár. Budapest
- [10] dr. Bátorfi I. (2000). Környezet-technika. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- [11] dr. Pál. K., dr. Macskásy H. (1980). A műanyagok éghetősége. Műszaki Könyvkiadó. Budapest
- [12] <http://www.atlas.d-waste.com/>
- [13] <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [14] <https://ourworldindata.org/plastic-pollution> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [15] <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [16] <https://www.statista.com/statistics/916625/global-generation-of-municipal-solid-waste-forecast/#statisticContainer> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [17] Kaza S. at al. (2018). What a Waste 2.0 – A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. The World Bank Group. Washington (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [18] <https://www.eea.europa.eu/hu/jelzesek/jelzesek-2014/cikkek/hulladek-problema-vagy-eroforras>
- [19] <https://sensoneo.com/global-waste-index-2019/> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.02.)
- [20] https://www.antsz.hu/data/cms83917/Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_20171213.pdf (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)
- [21] https://www.levego.hu/sites/default/files/Kantar_Hoffmann_Levego_MCS_Hulladekegetes_2017dec.pdf (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)

- [22] [https://www.antsz.hu/data/cms36282/Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_OKI_20120326_\(3\).doc?](https://www.antsz.hu/data/cms36282/Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_OKI_20120326_(3).doc?) (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)
- [23] http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/PoliMua_.htm (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)
- [24] Miskolczi N. (2012). Műanyagok kémiája és technológiája. Pannon Egyetem. Veszprém
- [25] <https://www.lenntech.com/polyvinyl-chloride-pvc.htm> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)
- [26] Mosonyi A. (2004). Műanyagipari kézikönyv. Rába Piért Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. Győr
- [27] <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyvinyl-chloride-pvc-plastic> (Hozzáférés dátuma: 2022.03.25.)
- [28] Dr. Macskásy H. (1983). A műanyagok világa. Műanyagipari Kutató Intézet. Budapest
- [29] https://www.draeger.com/hu_hu/Products/X-am-5600 (Hozzáférés dátuma: 2022.04.05.)
- [30] <https://www.draeger.com/Products/Content/x-am-5600-pi-9107263-hu-hu.pdf> (Hozzáférés dátuma: 2022.04.05.)
- [31] <https://www.manualslib.com/manual/1868477/Dr-Ger-X-Am-5600.html?page=233#manual> (Hozzáférés dátuma: 2022.04.05.)
- [32] Kuzma M., Lóránd T. (2014). Gyógyszerészi Kémia II. Gyakorlati praktikum. Pécsi Tudományegyetem. Pécs
- [33] Pokol Gy., Gyurcsányi E. R., Simon A. (2011). Analitikai kémia. Typotex Kiadó. Budapest
- [34] <https://manualzz.com/doc/6947896/evolution-500-user-manual> (Hozzáférés dátuma: 2022.04.05.)
- [35] https://nah.gov.hu/admin/staticmedia/file/9056/RO2-200528-NAH-1-1275-2019-V1-PGYP-206802995_al%C3%A1%C3%ADrt.pdf (Hozzáférés dátuma: 2022.04.05.)
- [36] Nagy Á., Kuti R.: The Environmental Impact of Plastic Waste Incineration, AARMS, 15/3. pp. 231-237. <https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/aarms-2016-3-03-nagy-kuti.original.pdf> (Hozzáférés dátuma: 2022.04.12.)
- [37] <https://baranya.katasztrofavedelem.hu/23778/hirek/117940/ne-gyujtsa-gyujtse> (Hozzáférés dátuma: 2022.04.12.)