

Király Lajos,¹  Bodnár László² 

Halogénezett szénhidrogének toxikus és tűzveszélyei ipari alkalmazás során

Toxicity and Fire Hazards of Halogenated Hydrocarbons during Industrial Application

A klórozott szénhidrogének megjelenése az élő környezetben – legyen az levegőben vagy vízben – jelentős figyelmet kapott az elmúlt években. Keletkezésük és a környezetbe való kikerülésük számos tényezőre vezethető vissza. Elsődlegesen mint ipari technológiai anyagok jelennek meg, de az elégetésük következtében is már jelentős környezetkárosító hatásuk van. A cikk célja felhívni a figyelmet a klórozott szénhidrogének veszélyeire és megvizsgálni néhány lehetőséget azok kiváltására. A szerzők vizsgálják továbbá azt, hogy egyes klórmentes segédanyagok használata milyen előnyökkel járna, hasonlóan az elektromos kábelek esetéhez.

Kulcsszavak: klórozott szénhidrogének, pirolízis, oxidáció, szerves oldószerek

The appearance of chlorinated hydrocarbons in the environment (air, water) has received considerable attention in recent years. Their emergence and release into the environment can be attributed to a number of factors. Their primary use is as industrial process materials, but they also have a significant environmental impact when burned, even in incinerators. The aim of the article is to raise awareness of the dangers of chlorinated hydrocarbons and to take stock of some of the options for replacing them. The authors also examine the benefits of using some chlorine-free auxiliary materials, similar to the case of electric cables (halogen free).

Keywords: chlorinated hydrocarbons, pyrolysis, oxidation, organic solvents, toxic combustion products

¹ Toray Industries Hungary Kft.; doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: lajos.kiraly.n5@mail.toray

² Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: bodnar.laszlo@uni-nke.hu

Bevezetés

A klórozott szénhidrogének megjelenése és azok káros hatásai, mint többek között az ózonlyuk a levegőben, már több évtizede ismertek. Keletkezésük egyértelműen az emberi tevékenységekre vezethető vissza. Elsődlegesen az iparban jelennek meg mint technológiai anyag, azonban az elégetésük – akár égetőművekben – során is már jelentős környezetkárosító hatások lépnek fel. Mára kimutathatóvá váltak az ismert vagy feltételezett mérgező/rákkeltő klórozott szénhidrogének és klóroxi-szénszámazékok mind a levegőben, mind pedig az élő vizekben. Külön szakirodalom foglalkozik a hulladék- és erőforrás-visszanyerő égetőkből származó pirolízismaradványokkal.³ Számos tanulmányt végeztek már a klórozott szénhidrogének magas hőmérsékletű oxidációjával kapcsolatban is, ahol modellezték az égetőkben végbemenő lehetséges folyamatokat. A cikk célja felhívni a figyelmet a klórozott szénhidrogének veszélyeire és arra, hogy a kémiában vannak lehetőségek klórmentes segédanyagok használatára is. A megoldás az elektromos kábelek területén tulajdonképpen mindennaposnak tekinthető.⁴ A gyógyszergyártásból származó halogénezett szénhidrogén-kibocsátást sem szabad elhanyagolni. A halogénezett szénhidrogének teljesen mesterséges vegyületek, amelyek a természetben meg sem találhatók. Toxikusak, hiszen nagyon rezisztensek a környezetben és az élő szervezetekben, valamint affinitásuk van a magas zsírtartalmú szövetekhez, beleértve az idegrendszert is.

Egyes halogénezett szénhidrogének a természetben is előfordulnak, de csak az alkotó atomokat (vagyis szén, hidrogén és halogén) tartalmazó biomassza elégetése során fellépő halogénezési reakciók során szintetizálódnak. Ezek a szintézisek gyakran, de alacsony arányban előfordulnak erdőtüzek során is.⁵ A halogénezett szénhidrogéneket széles körben használják kémiai intermediereként, oldószerként és növényvédő szerként. Ennek eredményeként az emberek a környezetükön és a munkahelyükön keresztül is ki lehetnek téve ezeknek a vegyi anyagoknak.⁶

Halogénezett szénhidrogének és származékaik csoportjai

A kis szénatomszámú halogénezett szénhidrogének között is alig találunk gáz halmazállapotút, sőt a jodoform már közönséges körülmények között is szilárd anyag (színe is eltér a többitől):

- aciklikus szénhidrogének telített klórozott származékai;
- aciklikus szénhidrogének telítetlen klórozott származékai;
- aciklikus szénhidrogének telített fluorozott származékai;
- aciklikus szénhidrogének telítetlen fluorozott származékai;
- aciklikus szénhidrogének brómozott vagy jódzott származékai;

³ KERÉKES–GYÖNGYÖSSY–ELEK 2017: 24–36.

⁴ KERÉKES–GYÖNGYÖSSY–ELEK 2017: 24–36; KERÉKES–GYÖNGYÖSSY 2017: 76–79.

⁵ BODNÁR–DEBRECENI 2020: 301–318; BODNÁR–RESTÁS 2018: 995–1001.

⁶ BAEK, S. O. ET AL. 1991: 279–300.

- aciklikus szénhidrogének két vagy több különböző halogént tartalmazó halogén származékai;
- ciklán-, ciklén- vagy ciklo-terpén szénhidrogének halogén származékai;
- aromás szénhidrogének halogén származékai.

Ezen csoportokon belül a ciklikus szénhidrogének telített klórozott származékaival találkozunk leginkább mint kiemelt felhasználású és előfordulású anyagokkal. A halogénezett szénhidrogének közül a metán klórszármazékai, a monoklórometán (metil-klorid), a diklórometán (CH₂Cl₂ vagy metilén-klorid), a triklórometán (kloroform) és a tetraklórometán (szén-tetraklorid), továbbá a tetraklóretilén (C₂Cl₄) fontos szerepet játszanak mindaz ipari, mind pedig a gazdasági és a környezetvédelmi szempontokban. Ezek a termékek megtalálhatók széles körben alkalmazható, nemcsak fontos kémiai intermediereként, hanem oldószerként is.

A halogénezett szénhidrogéneknél már elterjedt módon használják a hagyományos, triviális neveket. A szisztematikus elnevezésnél a halogénatomot a szénhidrogénekhez hasonlóan szubsztituensként kezeljük. A közös bennük, hogy mind folyadékok és mind szerves oldószerek.

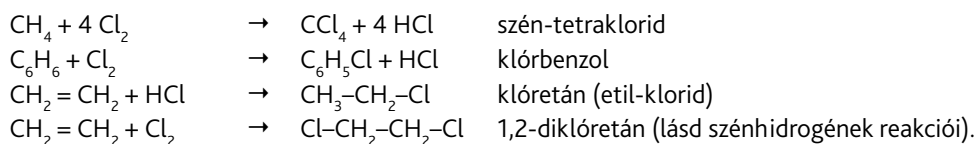
1. táblázat: Gyakori halogénezett szénhidrogének nevezéktana

	Szisztematikus név	Triviális, egyéb név	Felhasználás jelentősége
CHCl ₃	triklórometán	kloroform	oldószer, régen altatás
CCl ₄	tetraklórometán	szén-tetraklorid	oldószer
CF ₂ Cl ₂	difluor-diklórometán	freon-12	aeroszolok hajtógáza
CH ₂ =CHCl	klóretén	vinil-klorid	PVC-alapanyag
CHI ₃	trijódometán	jodoform	
CF ₂ =CF ₂	tetrafluoretén	tetrafluoretilén	vegytisztítás

Forrás: a szerző szerkesztése

Előállításuk és fizikai tulajdonságaik

A halogéntartalmú szénhidrogéneket a megfelelő szénhidrogénből származtatják úgy, hogy annak egy vagy több hidrogénatomját a megfelelő halogénnel helyettesítik, telített szénhidrogének esetén szubsztitúciós reakcióval. A halogénezett szénhidrogének előállítása nem feltétlenül egyezik meg származtatásukkal. A szén-tetraklorid vagy a klórbenzol valóban előállítható szubsztitúciós reakcióval is:



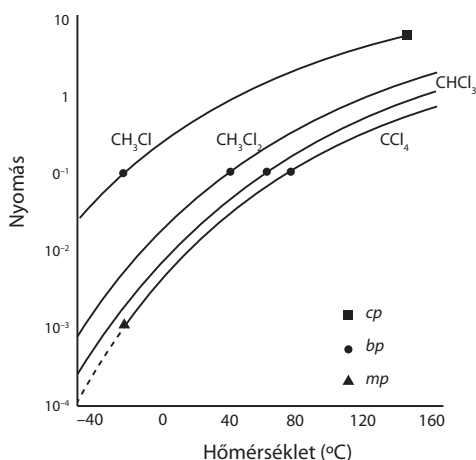
Elsőként az erőteljes párolgási hajlamot (1. ábra) és a molekulák apoláris tulajdonságát kell kiemelni, amelyek felelősek azért, hogy ezek kiváló szerves oldószerek. A halogénezett szénhidrogénekben a szén-halogén kötés nagyobb mértékű polaritása nem befolyásolja jelentősen

a vegyületek fizikai tulajdonságait. Olvadás- és forráspontjuk sokkal magasabb az azonos szénatomszámú szénhidrogénekénél, de ezt jelentősen nagyobb moláris tömegükkel, így a molekulák közt kialakuló erősebb kohéziós kölcsönhatással is megmagyarázhatjuk.

- Vízben nem, szerves oldószerekben jól oldódó vegyületek. Egyben elmondható, hogy apoláris anyagoknak jó oldószerei (példa a jód oldódása szén-tetrakloridban). Vízrel még az elvileg dipólusos molekulájú vegyületek (például a kloroform) sem elegyednek. A sok halogént tartalmazók pedig a víznél nagyobb sűrűségűek. Az apoláris anyagokat, például a jódot – lila színnel – jól oldják. Egymással, illetve más apoláris oldószerral is kitűnően elegyednek.
- Sűrűségük gyakran nagyobb, mint a víz sűrűsége. Például a CCl_4 sűrűsége $1,59 \text{ g/cm}^3$.
- Színtelen anyagok. Olvadás- és forráspontjuk lényegesen nagyobb az azonos szénatomszámú szénhidrogénekénél, például a metán (CH_4) olvadáspontja -183°C , a klórmétáné (CH_3Cl) -98°C .

Kiemelt toxikus vegyület a diklórmétán (DCM) is. A DCM színtelen, illékony folyadék, amely rendkívül hatékony oldószer is egyben. Apoláris molekula lévén elsődleges felhasználása ipari oldószerként történik. A DCM-alapú festéktávolítók különösen hatékonyan távolítják el a nagyon tartós bevonatokat is – beleértve az ólmozott festéket –, gyorsan, az aljzat károsítása nélkül.

Veszélyek: a DCM könnyen elpárolog (1. ábra),⁷ ami magas gőzkoncentrációt eredményezhet, különösen zárt térben vagy korlátozott szellőzés esetén. A DCM gőzének belélegzése kábító hatásokat válthat ki, beleértve az álmoságot, a fejfájást, a szédülést, magas koncentráció esetén pedig akár eszméletvesztés és halál is bekövetkezhet. Arra is van bizonyíték, hogy a DCM rákot okozhat.



1. ábra: Halogénezett szénhidrogének p-T tenziós görbéi

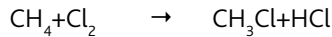
Forrás: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Chlorinated Hydrocarbons fejezet 5., 1. ábra

⁷ Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2000.

Kémiai és égési tulajdonságok

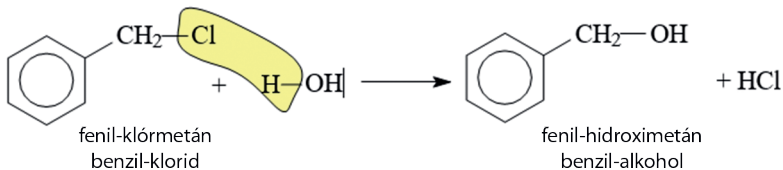
A halogénezett oldószereket széles körben használják, mivel alapvetően *nem gyúlékonyak* és nem jelentenek tűz- és robbanásveszélyt.⁸ Azonban ha az égés halogénezett oldószergőzőket tartalmazó atmoszférában történik, a gőzök lebomlanak és reakcióba léphetnek a levegővel, így rendkívül mérgező gázok keletkezhetnek.⁹ A halogénezett acetilénvegyületek (kettős kötést tartalmazó) instabilak, ezért robbanóanyagként kell kezelni őket. Az alacsony molekulatömegű halogén-alkánok nagyon gyúlékonyak, és egyes fémekkel reakcióba lépve veszélyes termékeket képezhetnek. Ezenkívül peroxidálhatók és hevesen polimerizálódhatnak. A halogéntartalom csökkenti a vegyület éghetőségét. A nagyobb halogéntartalmú vegyületek éghetetlenek (legfeljebb hő hatására elemeikre bomlanak, például a jodoform vagy szén-tetraklorid), a kisebb halogéntartalmú anyagok tökéletes égése során szén-dioxid mellett hidrogén-halogenid vagy elemi halogén szabadul fel. Egyes halogénezett szénhidrogéneket oltóanyagként használnak, illetve használtak (H 1301). A halogénezett szénhidrogének tökéletlen égése igen veszélyes lehet. Például a felszabaduló klór a tökéletlen égés közben keletkező szén-monoxiddal veszélyes foszgénné (COCl₂) alakulhat, amely az első világháborúban használt harci gáz volt.

Ahogyan az előbbieknél említettük, a halogénatom okozta polaritás jelentősen nem befolyásolja a vegyület fizikai sajátságait. A kémiai sajátságok túlnyomó többsége viszont a poláris kötésekkel van kapcsolatban. A halogénezett szénhidrogéneknél erős bázis, lúg és erős hevítés hatására olyan reakció is végbemehet, amelynek során lehasad a halogénatom és a halogénatomot kötő szénatommal szomszédos szénatomról egy hidrogénatom. A halogénezett szénhidrogének jellemző reakciója a szubsztitúció, azaz a könnyű halogénfelvétel. Ez az alapja az előállításuknak is.



A halogénatom minőségétől és helyzetétől függően lúgokkal (hidroxidionnal) vagy vízzel reakcióba lépve alkohollá alakulhat. A halogénezett szénhidrogének hidrolízise a vízzel való érintkezés miatt fontos. Ezek alapján a reakciójuk is több fokozatú lehet.¹⁰

Fokozott reakcióképességű vegyületek már vízzel forralva is hidrolizálnak:



2. ábra: A halogénezett szénhidrogének hidrolízise a vízzel való érintkezés során

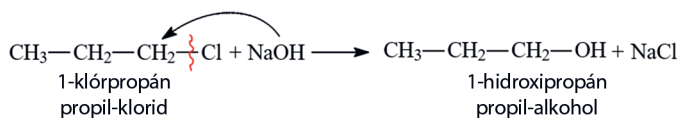
Forrás: a szerző szerkesztése

⁸ ÉRCES–RÁCZ 2021: 335–346.

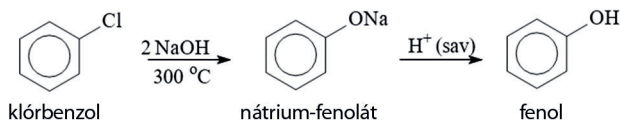
⁹ Miért rosszak a halogénezett szénhidrogének? Lásd: <https://gobertpartners.com/why-are-halogenated-hydrocarbons-bad>

¹⁰ KOVÁCS–HALMOS 1985.

Normális reakcióképességű vegyületek híg lúg hatására hidrolizálnak:



Csökkenett reakcióképességű vegyületek csak magas hőmérsékleten, tömény lúggal hidrolizálhatók:



3. ábra: A halogénezett szénhidrogének hidrolizálása lúggal

Forrás: a szerző szerkesztése

Környezetkárosító hatások

Manapság szinte áttekinthetetlenül sokféle műanyagot használunk. Műanyag van a ruháinkban, a bútorainkban, a műszaki cikkeinkben, műanyaggal festjük, tapétázzuk falainkat, és műanyaggal csomagolunk. A fahulladékok nagy része különböző gyanta- és lakkmaradványok mellett faanyagvédő anyagokat – biocidokat – is tartalmazhat, amelyekből a nem tökéletes égés során szintén egészségkárosító anyagok szabadulnak fel. A műanyag zacskók, eldobható műanyag palackok képezik a háztartási hulladék legnagyobb részét. A műanyagok hosszú idő alatt bomlanak le a természetben. Ha elégetjük őket, szennyezik a környezetet, és károsíthatják az egészségünket, rákkeltő, bőr- és szemirritációt okozó, a légző- és immunrendszert, valamint a vérképző szerveket súlyosan károsító vegyületek szabadulnak fel.¹¹

Az égetés mint környezetszennyező folyamat

Az égetés során általában szén-monoxid, szén-dioxid, hidrogén-klorid, hidrogén-fluorid és számos egyéb irritáló, maró hatású, valamint rákkeltő szerves anyag keletkezik. A dioxin- és a furánszármazékok, valamint a füsttel szétszóródó fémek (például a kadmium, cink, arzén, higany, nikkel, ólom, króm) az égés során keletkező porral leülepednek a talajra, a növényekre és a tápláléklánc révén bejutnak az emberi szervezetbe. PVC (műanyag flakonok, háztartási, gyógyszerészeti, kozmetikai termékek, gyerekjátékok stb.) égetése során szén-monoxid, vinil-klorid, dioxinok, klórozott furánok és sósavgáz képződésével kell számolnunk.¹²

¹¹ Az illegális hulladékégetés humán- és környezet-egészségügyi kockázatai.

¹² BARKÁCS et al. 2012.

Poliuretán égetésekor sárga füstfelhők jönnek létre, amelyek hidrogén-cianidot és foszfént, mérgező anyagot tartalmaznak. Fehérített papír (pizzásdobozok, mélyhűtött ételek dobozai) égetésekor halogénezett szénhidrogének jutnak a légkörbe, és ezek a vegyületek leukémiát okozhatnak.¹³

Papír és karton égetésekor a feliratok toxikusfém-tartalma szennyezi a környezeti levegőt. Régi farostlemez-hulladékok elégetése során arzén- és krómkibocsátással kell számolni.

Szabályozatlan égetések következtében keletkező toxikus vegyületek

A hulladékok égetésekor egyrészt számolhatunk az anyagi összetételből eredő károsanyag-kibocsátással, másrészt azonban figyelembe kell venni az alacsony égetési hőmérsékletnél keletkező, illetve felszabaduló káros melléktermékek jelenlétét is. A háztartásokban, illetve udvaron, nyílt térben leggyakrabban elégetett anyagok a következők:

- műanyag italcsomagolás és egyéb műanyag hulladék;
- textilipari hulladékok;
- import bálás használt ruha (ezt segélyezési céllal gyakran kapják meg szegény családok);
- műgyantát, műanyagot, festéket tartalmazó farostlemez, rétegelt lemez, bútor és nyílászáró;
- gumia broncs;
- kábelek;
- kerti hulladékok;
- papírhulladékok.

Égés során leggyakrabban keletkező klórtartalmú szerves toxikus vegyületek

Az illékony szerves vegyületek (VOC) a poliklórozottbifenil-származékok (PCB), dioxinok, furánok, ftalátok, ketonok, aldehidek, szerves savak, alkének és egyéb szerves vegyületek keletkezhetnek az égetés során.

A poliklórozottbifenil-származékok (PCB) egészségkárosító hatása

A PCB-k olyan kémiai vegyületek, amelyekben a klóratomok részben vagy teljesen átveszik a hidrogénatomok helyét a bifenilmolekulán, amely egyszeres kötéssel összekapcsolt két benzolmolekulából áll. Jelenlétükre elsősorban transzformátorokból származó hulladék olajokban, illetve hulladékkondenzátorokban számíthatunk.¹⁴ A PCB-k toxikussága, illetve bomlása a klóratomok számától és helyétől függ. A PCB-vegyületekről ismeretes, hogy toxikusak, mutagének és mérgezők a reprodukcióra nézve. Az EPA, IARC és DHHS (az USA egészségügyi minisztériuma) szerint a PCB-k besorolása állatokban bizonyítottan, emberben valószínűleg rákkeltő. A PCB-kitettség bőr- és szemelváltozásokat, menstruációs zavarokat, az immun-

¹³ BENKÓ 2012.

¹⁴ Polychlorinated Biphenyl.

reakciók csökkenését, valamint májkárosodást okoz. A terhes nők PCB-kitettsége fejlődési rendellenességeket, különösen idegrendszeri károsodásokat okozhat a születendő gyermeknél.¹⁵

A *vinil-klorid* a természetben nem fordul elő, szintelen, enyhén édeskés szagú, narkotikus hatású, gyúlékony gáz. A WHO-, az IARC- és az EU-besorolások szerint is 1-es kategóriájú, bizonyítottan emberi rákkeltő anyag, és az US EPA besorolása alapján is emberekben bizonyítottan rákkeltő vegyület. Akut toxicitása kicsi, belélegezve azonban narkotikus hatású, szédülést, fejfájást, eszméletvesztést okoz. Patkányoknál, egereknél és hörcsögöknél a kísérletek során görcsöket, légzési elégtelenséget, illetve a tüdő, vese kóros elváltozásait, májdaganatot tapasztaltak, a magas szintű expozíció hosszú távon a herék és a szívizom degenerációját eredményezte.

Dioxinok és furánok egészségkárosító hatása

A dioxinok elnevezés közel 210 vegyületet foglal magába. E vegyületek hasonló kémiai felépítésűek, változó számú klóratomot és aromás gyűrűt tartalmaznak. A dioxinvegyületek jellemzően a klórozott szénhidrogének égése során keletkeznek.¹⁶ Emellett azonban minimális mennyiségű klór jelenlétében is szintetizálódnak különböző szénhidrogének tökéletlen égésénél. Az egészségre gyakorolt hatását illetően az egyik legveszélyesebb vegyületcsoport, mivel a dioxinok perzisztensek a környezetben és felhalmozódnak az emberi szervezetben is.

Ózonbontó hatás

Korábban a halogénezett szénhidrogéneket (CFC) tették felelőssé az éghajlatváltozásért, és nem a szén-dioxidot, állítja a Waterloo Egyetem egyik kutatója egy sokat támadott cikkében.¹⁷ A klór-fluór-karbon vegyületekről évtizedek óta tudott, hogy fontos szerepet játszanak a sztratoszférikus ózon csökkenésében, ám egy mély statisztikai elemzésen alapuló tanulmány azt állítja, hogy ezek a vegyületek a főszereplői az éghajlatváltozásnak is, nem pedig a szén-dioxid. „A hagyományos gondolkodás szerint az éghajlatváltozást nem a CFC-gázok, hanem más, az ember által kibocsátott vegyületek okozzák. Az ipari forradalomig visszanyúló elemzésünk eredménye azonban azt mutatja, hogy ez a vélekedés helytelen” – nyilatkozta Lu Qing-Bin, a Waterloo Egyetem fizika-, kémia- és asztronómiaprofesszora. „A tények azt mutatják, hogy a CFC-k és a kozmikus sugárzás együttesen tehetők felelőssé mind az ózonréteg vékonyodásáért, mind a globális felmelegedésért.”¹⁸

A halogénezett szénhidrogének gyártásának és használatának betiltása azonban számos gazdasági, társadalmi kérdést vetett fel, hiszen ezeket az anyagokat használták többek között hűtőközegként, aeroszolban hajtógázként, szilárd csomagolóhabok gyártásánál és oldószerként is. Ezek kiváltására fejlesztették ki az úgynevezett részben klórozott-fluorozott szénhidro-

¹⁵ Polychlorinated Biphenyl.

¹⁶ THOMPSON-ANTHONY 2009: 115–156.

¹⁷ LU 2013; MÜLLER-GROOSS 2014.

¹⁸ REID-YAP-BLOXAM 2008: 19–29.

géneket, más néven hidrogénezett vagy lágy freonokat (HCFC-k). A freonokhoz hasonlóan ezeket is szénhidrogénekből állítják elő, azzal a különbséggel, hogy míg a freonok minden hidrogénatomját klór- vagy fluoratómmal helyettesítik, a HCFC-k molekuláiban a halogének mellett hidrogén is marad. A HCFC-k nagy mennyiségben egészségkárosító hatásúak, jelenlegi koncentrációjukban azonban semmilyen veszélyt nem jelentenek. A részben klórozott-fluorozott szénhidrogének elsődleges felhasználási területe a habosítás.

Bár a HCFC-k a freonoknál kevesebb klórt tartalmaznak, nem teljesen veszélytelenek a sztratoszferikus ózonnra. Az egyes anyagok ózonkárosító hatásának összehasonlítására vezették be az úgynevezett ozone depleting potential (ODP-) értéket, amely a CFC-11-hez viszonyított ózontartási képességet mutatja meg. A CFC-11 ODP-értéke ennek megfelelően 1, és a többi halogénezett szénhidrogén ózonkárosító képessége is ekörül mozog, ODP-jük 0,6–1 között változik. A HCFC-k ózontartási potenciálja ezzel szemben 0,01–0,1 közötti értékeket vesz fel, tehát lényegesen kisebb mértékben károsítják az ózonréteget a freonoknál.

A teljesen halogénezett szénhidrogének használata azért is volt kiemelten veszélyes, mert ezek a vegyületek – természetes nyelő hóján – lassan távoznak el a légkörből, tartózkodási idejük 50 év (CFC-11) és 1700 év (CFC-115) között változik (2. táblázat).

2. táblázat: CFC- és HCFC-vegyületek becsült légköri tartózkodási ideje és a GWP-értékük (globális felmelegedési potenciál)

Vegyület	Becsült tartózkodási idő	Globális felmelegedési potenciál		
	(év)	20 év	100 év	500 év
CFC-11	50	5000	4000	1400
CFC-12	102	7900	8500	4200
CFC-113	85	5000	5000	2300
CFC-114	300	6900	9300	8300
CFC-115	1700	6200	9300	13 000
HCFC-22	13,3	4300	1500	520
HCFC-123	1,4	300	93	29
HCFC-124	5,9	1500	480	150
HCFC-141b	9,4	1800	630	200
HCFC-142b	19,5	4200	2000	630
HCFC-225ca	2,5	550	170	52
HCFC-225cb	6,6	1700	530	170
CF ₃ BR	110	n. a.	5800	3200
CCl ₄	50	n. a.	1300	460
Metán	12,2±3	56	21	6,5

Forrás: GELENCSÉR–MOLNÁR–IMRE [é. n.]

A részben klórozott-fluorozott szénhidrogének légköri tartózkodási ideje ennél jóval rövidebb, általában néhány év, legfeljebb 15–20 év, ezért kisebb a valószínűsége, hogy feljutnak a sztratoszférába, és károsítják az ózonréteget. Ennek ellenére a HCFC-k nem jelentenek igazi megoldást, csak átmeneti helyettesítőkként jöhetnek szóba. További problémát jelent, hogy a HCFC-k – elődjeikhez hasonlóan – erős üvegházgázok.¹⁹

¹⁹ SOLYMOSI–KÖRMENDI 2010: 138–155.

A részleges fluorozott szénhidrogéneket (HFC) az 1990-es évek óta egyre nagyobb mennyiségben használják halonhelyettesítő gázokként, és fokozatosan átveszik majd a HCFC-k szerepét. Nevük az angol hydrofluorocarbon szó rövidítéséből származik, mert ezeket a vegyületeket hidrogén, fluor és szén alkotja, és a szénatomok száma nem haladja meg a hatot. A freonokkal és HCFC-ekkel ellentétben nem tartalmaznak klórt, így ózonkárosító hatásuk nincs. A HFC-k leggyakrabban metánból, etánból, propánból és butánból készülnek úgy, hogy a molekula egy vagy több hidrogénatomját fluorra cserélik. Bár a HFC-k kifejlesztésével sikerült megoldani a sztratoszferikus ózon fogyásának problémáját, egyre szélesebb körű elterjedésük azzal a veszéllyel jár, hogy újabb hosszú tartózkodási idejű, erős üvegházgázok kerülnek a légkörbe. Ma már a HFC-k is felkerültek a kiotói jegyzőkönyv által előírt listára, amely tartalmazza a korlátozás alá eső üvegházgázokat.²⁰

Lehetőségek a klórtartalmú szénhidrogének kiváltására, a fejlesztések iránya

A klórozott szénhidrogének (CHC), például a perklór-etilén (PER), a triklór-etilén (TRI) és a metilén-klorid (MC) kiváltására oldószerként kémiaileg számba vehetők a nem halogénezett szénhidrogének (HC) is, mint például az izoparafin és a módosított alkoholok. A szénhidrogéneket és a módosított alkoholokat a kémiai összetételük különbözteti meg, amely meghatározza a poláris és nem poláris tulajdonságukat.

Egy oldószer polaritása a legfontosabb tulajdonság, amely a felhasználás körét adja. A nem poláris HC-tisztítószeres elsődleges alkalmazása a zsírtalanítás, köszönhetően jó állati, növényi és ásványi olaj- és zsíroltó hatásuknak. A módosított alkoholok ugyanakkor általában jobb zsíroltó képességekkel rendelkeznek, mint a tiszta szénhidrogének. A módosítottalkohol-alapú tisztítószeres – amelyek liofil és hidrofil tulajdonságokat mutatnak – megfelelőek olyan bonyolult alkalmazásoknál, mint a tekercselt alkatrészek, a szinterezett fém és nagy pontosságú, kis alkatrészek tisztítása.

A szénhidrogének és a módosított alkoholok erősen illékony és éghető anyagok. Ezeket rendszerint lobbanáspontjuk fölötti hőmérsékletű ipari alkalmazásokban használják, ezért megfelelő tűz- és robbanásvédelmi rendszertechnológia szükséges. A nem éghető klórozott szénhidrogének nagyon jó zsírolók, minimális a felületi feszültségük és kémiaileg igen stabilak. Rendszerint hatékonyan távolítják el a nem poláris olajokat és enyhén poláris zsírokat a bonyolult alakú alkatrészekről, korrózió, oxidáció, elszíneződés, égés, homályosodás vagy egyéb felületi rongálás nélkül.

A CHC-k alkalmazása előnyös, ha a tisztítandó alkatrészekkel együtt kritikus olajok (például klórozott és erősen kénes olajok) kerülnek a tisztítóközegbe. Ahol a szárítás is lényeges, ott a klórozott szénhidrogének előnyösebbek a HC-nál és a módosított alkoholoknál az alacsony párolgási sebességüknek köszönhetően. Gyorsabban és teljesebben száradnak, ezért a kritikus

²⁰ GELENCSÉR–MOLNÁR–IMRE [é. n.].

száradási tulajdonságaiknak köszönhetően inkább ezekre esik a választás például összetett geometriával, valamint kapillárisokkal rendelkező alkatrészeknél.²¹

Összegzés

A széles körű szakirodalom áttekintését követően megállapítjuk, hogy a vegyszeti szakterület naprakészen foglalkozik a halogénezett és kiemelten a klórozott szénhidrogének toxikus hatásaival. A szakma egységes abban, hogy ha mint ipari hulladékot semmisítjük meg, akkor az zárt égetőműben történjen. Ezzel a kérdéskörrel részletesebben nemzetközi szinten külön disszertáció is foglalkozik,²² kifejezetten ebből a célból, hogy milyen termikus folyamatok mennek végbe különböző hőmérsékleteken és atmoszférákban. Ezzel javaslatot lehet tenni, hogy milyen hulladékot milyen optimális paraméterek mellett lehet kezelni. A másik irány a módosított alkoholok bevezetése a feldolgozóiparba. Harmadrészt nagy felelősség hárul a környezetvédelmi hatóságokra, amelyek a toxikusság határértékét szabják meg.

Irodalomjegyzék

- Az illegális hulladékégetés humán- és környezet-egészségügyi kockázatai. Online: [www.antsz.hu/data/cms36282/Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_OKI_20120326_\(3\).doc?](http://www.antsz.hu/data/cms36282/Tajekoztato_illegalis_hull_egetesrol_OKI_20120326_(3).doc?)
- BAEK, S. O. et al. (1991): A Review of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Fate and Behaviour. *Water, Air, & Soil Pollution*, 60, 279–300. Online: <https://doi.org/10.1007/BF00282628>
- BARKÁCS Katalin et al. (2012): *Környezetkémia*. Budapest: Typotex.
- BENKÓ Lászlóné (2012): Tájékoztató. Az illegális hulladékégetés humán- és környezet-egészségügyi kockázatai. Online: www.tokodaltaro.hu/index.php/hirek-aktualitasok/96-hulladekegetes
- BODNÁR László – DEBRECENI Péter (2020): Erdő- és vegetációtüzek kialakulásának térbeli és időbeli változásai Magyarországon. In FÖLDI László – HEGEDŰS Hajnalka (szerk.): *Éghajlatváltozás okozta kihívások és lehetséges válaszok*. Budapest: Dialóg Campus, 301–318. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/15313>
- BODNÁR László – RESTÁS Ágoston (2018): Examination of the Forest Fires Detection: The Relationship Between the Fire and the Detection. In DOMINGOS, Viegas (szerk.): *Advances in Forest Fire Research*. Universidade de Coimbra, 995–1001. Online: https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_109
- CHIANG, Hong-Ming (1995): *Dichloromethane Pyrolysis and Oxidation: Formation of Chlorinated Aromatic Precursors to PCDD/F*. Online: <http://archives.njit.edu/vol01/etd/1990s/1995/njit-etd1995-015/njit-etd1995-015.pdf>
- ÉRCES Gergő – RÁCZ Sándor (2021): Spatial Fundamentals of the Protection Against Fire Spread Relationship Between the Risk Unit and the Fire Section in Hungary. *Védelem Tudomány*, 6(3), 335–346. Online: www.vedelemtudomany.hu/articles/VI/3/25-erces-racz.pdf
- GELENCSÉR András – MOLNÁR Ágnes – IMRE Kornélia [é. n.]: Az éghajlatváltozás okai és következményei. Online: <https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/ff/02-eghajlat/Eghajlat.xhtml>

²¹ SCHULZ 2019.

²² CHIANG 1995.

- KEREKES Zsuzsanna – GYÖNGYÖSSY Éva (2017): Elektromos kábelek tűzvédelmi minősítésének kérdései. In RESTÁS Ágoston – URBÁN Anett – BODNÁR László (szerk.): *Tűzoltó Szakmai Nap 2017*. Budapest: BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 76–79.
- KEREKES Zsuzsanna – GYÖNGYÖSSY Éva – ELEK Barbara (2017): Tűzálló kábelek műanyag burkolatának új és hagyományos vizsgálati módszereinek összehasonlító elemzése. *Védelem Tudomány*, 2(3), 24–36. Online: <https://vedelemtudomany.hu/articles/02-kerekes-gyongyossy-elek.pdf>
- KOVÁCS Kálmán – HALMOS Miklós (1985): *A szerves kémia alapjai*. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat.
- LU, Qing-Bin (2013): Cosmic-Ray-Driven Reaction and Greenhouse Effect of Halogenated Molecules: Culprits for Atmospheric Ozone Depletion and Global Climate Change. *International Journal of Modern Physics*, 3. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1210.6844>
- Miért rosszak a halogénezett szénhidrogének? Online: <https://gobertpartners.com/why-are-halogenated-hydrocarbons-bad>
- MÜLLER, Rolf – GROOSS, Jens-Uwe (2014): Comment on 'Cosmic-Ray-Driven Reaction and Greenhouse Effect of Halogenated Molecules: Culprits for Atmospheric Ozone Depletion and Global Climate Change' by Rolf Müller and Jens-Uwe Grooß. *International Journal of Modern Physics*, 15. Online: <https://doi.org/10.1142/S0217979214820013>
- Polychlorinated Biphenyl. Online: www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0939.htm
- REID, N. – YAP, D. – BLOXAM, R. (2008): The Potential Role of Background Ozone on Current and Emerging Air Issues: An Overview. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1. 19–29. Online: <https://doi.org/10.1007/s11869-008-0005-z>
- SCHULZ, Doris (2019): Parts2clean Supporting Program: Information, Innovation and Expertise. Felület. hu, 2019. július 23. Online: www.felulet.hu/surfacenews/parts2clean-supporting-program-information-innovation-and-expertise-20190723
- SOLYMOSI József – KÖRMENDI Krisztina (2010): Az energiapolitika megválasztásának környezetbiztonsági szempontjai a villamosenergia termelés vonatkozásában. *Hadmérnök*, 5(2), 138–155.
- THOMPSON, Jeremy – ANTHONY, Honor (2009): The Health Effects of Waste Incinerators. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*, 15(2–3), 115–156. Online: <https://doi.org/10.1080/13590840600554685>
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (2000). 40. Wiley-VCH.