



LEARNING TOXICOLOGY  
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

# PYSYVÄT ORGAANISET SAASTEYHDISTEET JOHDANTO

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transilvania University of Braşov

[i.manciulea@unitbv.ro](mailto:i.manciulea@unitbv.ro), [lucia.d@unitbv.ro](mailto:lucia.d@unitbv.ro)

Käännös Meria Mäkelä



## JOHDANTO

Nykyään ihmiset asuvat maailmassa, jossa pysyviä orgaanisia yhdisteitä (POP), kuten DDT, Dieldrin, PCP, HCH, PAH jne. peräisin tuotannosta ja käytöstä maataloudessa ja teollisuudessa 1920-1950-luvuilla. Ne ovat organismeja, jotka aiheuttavat haitallisia vaikutuksia ihmisille ja ympäristölle.

POP-yhdisteitä on löydetty jokaiselta mantereelta ja kaikilla tärkeimmillä ilmastovyöhykkeillä, mukaan lukien maailman kaukaisimmat alueet, kuten avoimet valtameret ja aavikot sekä jokaisessa villieläinlajissa ja ihmisessä (Ritter et al 1997, AMAP, 2014). Pysyvät orgaaniset yhdisteet ovat kemiallisia aineita, jotka pysyvät ympäristössä, kerääntyvät ja aiheuttavat haitallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Nämä epäpuhtaudet kulkeutuvat kansainvälisten rajojen yli, kauaksi niiden lähteistä, jopa alueille, joilla niitä ei ole koskaan tuotettu tai käytetty. Arktisen alueen ekosysteemit ja alkuperäiskansat ovat erityisesti vaarassa näiden aineiden pitkän kantaman ympäristökulkeutumisen ja biomagnifikaation vuoksi. Myös Itämeren ja Alppien alueet mainitaan esimerkkeinä EU:n POP-pilaantumista. POP:t uhkaavat ympäristöä ja ihmisten terveyttä kaikkialla maailmassa. Kansainvälinen toiminta on tarpeen näiden yhdisteiden tuotannon, käytön ja päästöjen vähentämiseksi ja poistamiseksi.

Pysyvät orgaaniset yhdisteet ovat sekä luonnollisia että antropogeenisiä, halogenoituja orgaanisia yhdisteitä, jotka kestävät kemiallista, fotolyttistä ja biologista hajoamista. Ne ovat ominaisuuksia, jotka johtavat niiden kertymiseen maa- ja vesiekosysteemeihin. Ihmiset voivat altistua POP-yhdisteille ruokavalion, työtaturmien ja ympäristön (mukaan lukien sisäilman) kautta. Altistuminen pysyvästi tai kroonisesti POP-yhdisteille voi liittyä monenlaisiin haitallisiin terveysvaikutuksiin, kuten sairauksiin ja kuolemantapauksiin. Osa POP-yhdisteistä, kuten PCB-yhdisteistä, voi pysyä ympäristössä vuosien ajan ja

biokertyä jopa 70 000 -kertaisesti (Ritter et al 1997, Tukholma 2007, AMAP, 2014, WHO 2010, WHO, 2016).

## POP-YHDISTEIDEN OMINAISUUDET JA YMPÄRISTÖ- VAIKUTUKSET

Kemikaalien tai POP-yhdisteiden käyttäytyminen ympäristössä määräytyy seuraavasti:

- Niiden kemiallinen rakenne, kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ja ympäristön luonne ovat merkittäviä.
- Orgaaniset yhdisteet, joilla on hyvin vähäinen pysyvyys, alhainen myrkyllisyys ja immobiliteetti, eivät aiheuta vaaraa ympäristölle ja ihmisten terveydelle.
- POP-yhdisteitä ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat pysyviä, liikkuvia ja myrkyllisiä.
- Suhteellisen harvoilla aineilla on POP-yhdisteitä vastaavia ominaisuuksia.
- Pysyvyys on ajan pituus, jolloin yhdiste pysyy ympäristössä, ennen kuin se hajoaa tai hajoaa muihin vähemmän vaaraviin aineisiin.
- Erittäin pysyvät yhdisteet ympäristössä ovat POP-yhdisteitä, joiden puoliintumisajat ovat yli 6 kuukautta.
- Hajoaminen on vähintään kahden prosessin, hajoamisen ja liikkuvuuden yhdistelmä ja edustaa aineen katoamista ympäristöltä.
- Puolihaihtuvuus on POP-yhdisteiden tärkeä ominaisuus, joka mahdollistaa liikkuvuuden, mikä riittää sallimaan melko suurien määrien päästä ilmakehään ja kulkeutua pitkiä matkoja.
- Semi-haihtuvat aineet ovat yleensä erittäin halogenoituja, niiden molekyylipaino on 200-500 ja höyrynpaine on alle 1000 Pa. Nämä aineet voivat haihtua kuumilta alueilta sekä tiivistyä ja pysyä kylmemmillä alueilla.
- Lipofiilisyyden on POP:n taipumus liuottaa etupäässä rasvoja eikä vettä.

- POP-yhdisteiden korkea lipofiilisyys määrittää niiden biokertyvyyden ympäröivästä väliaineesta eläviin organismeihin. Yhdessä ympäristön säilymisen kanssa ja biologisen hajoamisen vastustuskyvyn kanssa lipofiilisyys johtaa myös biomagnifikaatioon ravintoketjun kautta (Ritter et ai. 1997, Tukholma 2007, UNEP, 2010, Ding, 2013).

## POP-AINEIDEN KEMIA JA TOKSIKOLOGIA

### KEMIA

- Määritelmän mukaan POP-orgaaniset yhdisteet ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka usein halogenoidaan tai kloorataan.
- POP-yhdisteet ovat erittäin kestäviä biologisen, fotolyttisen tai kemiallisen hajoamisen vuoksi.
- Hiilikloorisidos on hyvin stabiili hydrolyysin suhteen, ja mitä enemmän kloorisubstituutioita tai funktionaalisia ryhmiä niissä on, sitä suurempi vastustuskyky on biologiselle ja fotolyttiselle hajoamiselle. Aromaattiseen (bentseenirenkaaseen) kiinnittynyt kloori on vakaampi hydrolyysin suhteen kuin kloori alifaattisissa rakenteissa.
- POP-yhdisteillä, joilla on korkea halogenointi, on hyvin alhainen vesiliukoisuus ja korkea lipidiliukoisuus ja ne voivat helposti kulkea biologisten kalvojen fosfolipidirakenteen läpi ja kertyä rasvakertymiin.
- Halogenoidut hiilivedyt ovat tärkeä ryhmä POP-yhdisteitä ja orgaaniset kloorit ovat sen tärkein ryhmä (dioksiinit, furaanit, PCB, heksaklooribentseeni, mirex, toksapeeni, heptakloori, klordaani ja DDT).
- POP-yhdisteille on tunnusomaista alhainen vesiliukoisuus, korkea lipidiliukoisuus ja ympäristön pysyvyys, pitkä puoliintumisaika ja niiden mahdollisuudet biokertyä ja biokertymäorganismeissa, kun ne hajoavat ympäristöön.
- Vaikka orgaanisten kloorien tietyt luonnolliset lähteet (bakteereista, sienistä, kasveista, meren eliöistä, hyönteisistä jne.) tiedetään olevan olemassa, suurin osa POP-yhdisteistä on peräisin lähes kokonaan *ihmisestä peräisin* olevista, orgaanisten kemikaalien valmistukseen ja

käyttöön liittyvistä antropogeenisistä lähteistä. Sen sijaan HCB:n, dioksiinien ja furaanien muodostuu *tahattomasti* monenlaisista valmistus- ja palamisprosesseista.

- POP-yhdisteet ovat tyypillisesti puoli- tai haihtuvia yhdisteitä, jotka suosivat pitkän matkan kulkeutumistaan suurilla etäisyyksillä ilmakehän ja biologisen ja fotolytyttisen hajoamisen vastustuskyvyn takia. Haihtuminen voi tapahtua kasvien ja maaperän pinnalta käyttämällä POP-yhdisteitä torjunta-aineina.
- Kemianteollisuus on käyttänyt halogenoituja tai kloorattuja orgaanisia yhdisteitä miljoonien tonnien PVC:n, liuottimien, torjunta-aineiden sekä erikoiskemikaalien ja lääkkeiden tuotantoon.
- Lisäksi sekä antropogeeniset että ei-antropogeeniset lähteet johtavat myös ei-toivottuihin sivutuotteisiin ja päästöihin, jolle on ominaista niiden pysyvyys ja rikkoutumiskestävyys (kuten klooratuilla dioksiineilla, furaaneilla jne.).
- Fysikaalis-kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi POP-yhdisteitä voidaan muuttaa ympäristössä erilaisissa mikrobiologisissa, kemiallisissa, fotokemiallisissa prosesseissa. Näiden ympäristöprosessien tehokkuus riippuu pitkälti yhdisteen ominaisuuksista ja ympäristön ominaisuuksista.
- Sykliset, aromaattiset syklodieeni-klooratut hiilivety-yhdisteet, kuten jotkut klooratut torjunta-aineet (DDT, klordaani, lindaani, heptakloori, dieldriini, aldriini jne.), joiden molekyylipainot ovat yli 236 g/mol, kertyvät kudoksiin ja ne tunnetaan pysyvyydestään ympäristössä.
- Alemman molekyylipainon klooratut hiilivedyt (alle 236 g/mol) voivat sisältää alkaaneja ja alkeneja (dikloorimetaani, klooripikriini, kloroformi) ja niihin liittyy usein vain vähän äkillistä toksisuutta, vastakkaisia toksikologisia vaikutuksia ja niillä on suhteellisen lyhyt ympäristöpysyvyys ja biologinen puoliintumisaika.
- Biologista hyötyosuutta (yksittäisen organismin saatavana olevaa kemikaalin kokonaiskonsentraatiota) säätelee yhdistelmä kemiallisia

ominaisuuksia, mukaan lukien ympäristö ja organismin morfologiset, biokemialliset ja fysiologiset ominaisuudet.

- Yleensä orgaanisten epäpuhtauksien erittymistä helpotetaan metabolisen muuntamisen avulla polaarisiin yhdisteisiin. POP-yhdisteiden hajoamisen ja murtumisen vastustuksen takia ne eivät ole helposti erittyviä, ja epäpuhtaudet (esim. toksapeenit, PCB jne.), jotka ovat eniten vastustuskykyisiä, kertyvät yleensä organismeihin ja ravintoketjun kautta. Jotkut orgaaniset epäpuhtaudet voidaan muuntaa pysyviksi aineenvaihduntatuotteiksi (esim. DDT:n muunto DDE:ksi ja aldiinille metaboloituvan aineen muuttaminen sen pysyvään metaboliittiin dieldriiniin). (Ritter et ai., 1997; Ding et ai., 2013; WHO, 2010).

## TOKSIKOLOGIA

### Ympäristö

- POP-yhdisteillä on ollut merkittäviä ympäristövaikutuksia monenlaisissa lajeissa ja lähes kaikilla troofitasoilla. POP-yhdisteiden akuutteja vaikutuksia on tutkittu hyvin ja haittavaikutukset liittyivät krooniseen alhaiseen altistumiseen ympäristössä.
- POP-yhdisteiden pitkä biologinen puoliintumisaika elävissä organismeissa helpottaa pienten pitoisuuksien kertymistä pitkiksi ajoiksi. Joillekin POP-yhdisteille on olemassa kokeellisia todisteita siitä, että kumulatiiviset matalatasoiset altistumiset voivat liittyä kroonisiin ei-tappaviin vaikutuksiin (immunotoksisuus, iho-oireet ja karsinogeenisuus).
- Tutkimukset osoittivat, että immuunijärjestelmän toiminta aiheuttaa merinisäkkäiden kuolleisuuden lisääntymistä ja osoitti myös, että POP-pilaantuneiden ruokavalioiden käyttö voi johtaa kilpirauhasen puutteisiin ja alttiuteen mikrobien infektiioihin ja lisääntymishäiriöihin merenpohjoissa.

- Immuunijärjestelmäpuutteita on aiheutunut monenlaisissa luonnonvaraisissa lajeissa POP-yhdisteistä (TCDD, PCB, klordaani, HCB, toksapeeni, DDT).
- Luonnonvaraiset eläimissä on raportoitu korkea kasvaimien esiintymistä sisältäen suuria PCB-pitoisuuksia mirexiä, klordaania ja toksapeenia (AMAP, 2014; WHO, 2010; WHO, 2016).

### Ihmisterveys

- Tieteelliset tutkimukset viittaavat siihen, että jotkin POP-yhdisteet voivat aiheuttaa merkittäviä kielteisiä vaikutuksia ihmisten terveydelle paikallisella, alueellisella ja maailmanlaajuisella tasolla pitkän aikavälin kulkeutumisen (LRT) takia.
- Joillekin POP-yhdisteille altistuminen työtapaturmissa ja onnettomuuksissa aiheuttaa suurta riskiä työntekijöille erityisesti kehitysmaissa, joissa POP-yhdisteiden käyttö maataloudessa aiheuttaa suuren määrän kuolemantapauksia.
- Esimerkiksi Filippiineillä tehty tutkimus osoitti, että endosulfaani oli merkittävin vuonna 1990 torjunta-aineiden aiheuttamissa akuuteissa myrkytyksissä maanviljelijöiden keskuudessa.
- Työntekijöiden altistuminen POP-yhdisteille jätehuollossa on monissa maissa merkittävä työperäinen riski. Lyhytaikainen altistuminen tiettyjen POP-yhdisteiden suurille pitoisuuksille aiheuttaa sairauksia ja kuolemaa.
- Työntekijöiden, sivullisten ja lähipiirin altistumista myrkyllisille kemikaaleille on usein vaikea minimoida erityisesti kehitysmaissa.
- Työpaikan altistumisen hallintaan liittyvät ongelmat johtuvat koulutuksen ja turvavarusteista puutteesta ja huonommista työolosuhteista.
- Eniten äskettäin raportoituihin ihmisten terveyteen kohdistuviin POP-yhdisteitä koskeviin raporteihin sisältyy HCB-myrkytyksen jakso Kaakkois-Turkissa, mikä johtaa 90%:n kuolemaan kärsineistä, ja toisessa altistuksessa maksakirroosiin, porfyriaan ja neurologisiin häiriöihin.

- Akuutti tapaus Italiassa vuonna 1976, 2,3,7,8-TCDD:n vapautumisessa ympäristöön johti klooraanin lisääntymiseen.
- Yhdysvaltain talouskumppanuussopimus tarkastelee parhaillaan dioksiinin aiheuttamia terveysvaikutuksia erityisesti ei-karsinogeenisten päätetapahtumien osalta (immunotoksisuus, lisääntymishäiriöt ja neurotoksisuus).
- Tällaiset vaikutukset eivät ole yleisiä niissä tapauksissa, että ne altistuvat johtuu ympäristön ja elintarviketietojen pienemmistä pitoisuuksista.
- Eläinten laboratoriotutkimukset ja kenttätutkimukset sekä kliiniset ja epidemiologiset tutkimukset ihmisillä ja soluviljelmien tutkimukset osoittivat, että tiettyyn POP-yhdisteille yli-altistumiseen voi liittyä monenlaisia biologisia vaikutuksia.
- Nämä haittavaikutukset voivat olla immuunijärjestelmän toimintahäiriö, neurologiset vajeet, lisääntymisperäiset poikkeavuudet, käyttäytymisen poikkeavuudet ja karsinogeneesi.
- Tieteellisiä todisteita, jotka osoittavat, että krooninen altistuminen POP-yhdisteiden subleetaalisille pitoisuuksille (jotka johtuvat pitkän kantaman liikenteestä) ja ihmisten terveyteen kohdistuvista vaikutuksista on vaikea saada aikaan.
- Tutkimukset ovat osoittaneet, että PCB:n, dioksiinien ja furaanien saanti ruokavaliossa voidaan yhdistää lymfosyyttien vähenemiseen ja arvioidaan, että lapsilla, joilla on POP-yhdisteitä ruokavaliossa, on 10-15-kertainen infektiotaso kuin muilla lapsilla.
- Kehittyvä sikiö ja vastasyntynyt ovat erityisen alttiita POP-altistukselle äidin rasisusten transplantaalisen ja laktatiivisen siirtymisen vuoksi.
- Kanadan arktisen alueen asukkaat, joilla on PCB-tasot, jotka ylittävät hyväksyttävän päivittäisen saannin, ovat erityisen vaarassa lisääntymis- ja kehitysvaikutuksille.
- Karsinogeneesitutkimukset, jotka liittyvät ammatilliseen altistumiseen 2, 3, 7, 8-TCDD :lle osoittavat, että ihmispopulaatioiden korkeat altistukset lisäävät syöpätapauksia.



- Laboratoriotutkimukset osoittavat, että joillakin organokloorikemikaaleilla (dioksiineilla ja furaaneilla) voi olla syöpää aiheuttavia vaikutuksia ja ne voivat toimia voimakkaina kasvaimien promoottoreina (Ritter et al 1997, Dewailly ym. 2000, UNEP, 2010, WHO, 2016).

## POP-YHDISTEIDEN KULKEUTUMINEN YMPÄRISTÖSSÄ

- Pysyvyyttä voidaan vähentää ympäristön muutosprosesseilla:  
a) biotransformaatio b) abiottinen hapetus; (c) hydrolyysi ja fotolyysi.
- Näiden prosessien merkitys riippuu siitä, missä määrin ne esiintyvät luonnollisissa ympäristöolosuhteissa. Nämä määrät riippuvat aineen kemiallisesta rakenteesta ja ominaisuuksista ja sen jakautumisesta ympäristössä.
- Ympäristötekijöillä on vähäinen vaikutus POP-yhdisteiden hajoamiseen tai muuntumiseen.
- Vaikutukseltaan eri tekijät ovat vähemmän tehokkaita polaarilla alueilla. Kun otetaan huomioon POP-yhdisteiden jatkuva käyttö ja vapautuminen muualla maailmassa, tästä seuraa POP-yhdisteiden kertyminen polaarille alueille. Osa fysikaalisista ominaisuuksista riippuu voimakkaasti ympäristöolosuhteista.
- Lämpötila vaikuttaa höyrynpaineeseen, vesiliukoisuuteen, Henryn lain vakioon.
- Nettovaihtosuunta aallon valtameren aineille heijastaa myös eroja pintaveden lämpötilassa ja ilmakehän pitoisuudessa.
- Esimerkiksi POP-yhdisteiden liikkuvuus Bengalinlahdella Intian valtamerellä on merestä ilmakehään, kun taas polaarilla alueilla sen on käänteinen.
- Lämpötila voi myös vaikuttaa kerrostumiseen muissa paikoissa. POP-yhdisteiden jakautuminen on käänteisesti riippuvainen höyrynpaineesta ja siten lämpötilasta.

- Alhaisemmat lämpötilat edesauttavat näiden yhdisteiden suurempaa erottamista höyryfaasista ilmakehään ripustettuihin hiukkasiin lisäämällä niiden poistoa ja kuljetusta maan pinnalle sateen ja lumen avulla.
- Maapallon tropiikissa on korkeampia lämpötiloja kuin maapallon lauhkeilla ja polaarilla alueilla.
- Torjunta-aineiden käytön käyttäminen trooppisessa maataloudessa lämpimän kosteampien kasvukausien aikana voi helpottaa POP-yhdisteiden nopeaa hajoamista ilman ja veden avulla.
- Nämä ja muut havainnot viittaavat siihen, että POP-yhdisteiden syöttäminen trooppiseen rannikkovesistöön jokiveden kautta on vähemmän merkitsevää kuin lauhkeilla alueilla.
- Viipymisaika trooppisessa vesiympäristössä on lyhyt ja siirto ilmakehään on näillä alueilla suurempi. POP-yhdisteiden lyhyt viipymisaika trooppisessa vedessä voidaan pitää paikallisten eliöiden kannalta suotuisana, mutta sillä on vaikutuksia globaaliin ympäristöön, koska trooppisten alueiden haihtuneet jäämät hajoavat maailmanlaajuisen ilmakehän läpi.
- POP-yhdisteiden leviäminen valtamerissä korreloi suuren muutoksen kanssa viime vuosikymmeninä. 1980-luvulle saakka POP-yhdisteiden (DDT, PCB) pitoisuudet olivat suuremmat pitoisuuksina pohjoisen pallonpuoliskon valtamerissä, koska teollisuusmaat kehittyivät suuresti (Japani, Eurooppa ja Pohjois-Amerikka). Tätä leviämistä ei ole nähty viimeaikaisissa näytteissä.
- Ilmakehäkulkeutumista ja POP-yhdisteiden (PCB, DDT, HCH, klordaani) kertymistä polaarille alueille on dokumentoitu laajasti. Kerääntyminen polaarialueille on osittain seurausta globaalista tislauksesta, jota seuraa yhdisteiden kylmä kondensoituminen PCB:nn ja torjunta-aineiden volatiilisuusalueella.
- Epäpuhtaudet säilyvät jatkuvasti ja haihtuvat uudelleen ja jakautuvat haihtuvuuksiensa mukaan. Tuloksena on verrattain nopeaa kulkeutumista ja kertymistä sellaisten POP-yhdisteiden välille, joilla on

välillistä haihtuvuutta (kuten HCB:illä), ja vähemmän haihtuvilla aineilla (kuten DDT:illä) on hitaampaa siirtymistä.

- Polaaristen ekosysteemien ominaisuudet lisäävät POP-yhdisteiden saastumista. Kylmempi ilmasto, vähentynyt biologinen aktiivisuus ja auringonvalon suhteellisen pieni ilmaantuvuus lisäävät pysyvien orgaanisten yhdisteiden pysyvyyttä.
- POP-yhdisteiden pitoisuuksien tarkastaminen Arktisen ja Etelämantereen alueen näytteistä osoitti pitoisuuksien laskua, koska osa POP-yhdisteistä oli kielletty tai rajoitettu. Pysyvien orgaanisten yhdisteiden analyttisten tietojen keskustietokannan ylläpitäminen auttaisi suuresti määrittämään tilastojen tilastollisia ja ajallisia suuntauksia ja liittämään ne POP-yhdisteiden käytön muutoksiin (EMEP, 2008, EMEP, 2014, AMAP, 2014).

## 12 POP-YHDISTETTÄ TUKHOLMAN YLEISSOPIMUKSEN MUKAISESTI

Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus (toukokuu 2001) keskittyy 12 POP-yhdisteen (nimeltään "Dirty Dozen") Yhdistyneiden Kansakuntien ympäristöohjelman (UNEP) päästöjen vähentämiseen ja poistamiseen. Nämä 12 ovat:

- kahdeksan torjunta-ainetta (aldriini, klordaani, DDT, dieldriini, endriini, heptakloori, mirex, toksapeeni)
- kaksi teollisuuskemikaalia (polyklooratut bifenyylit (PCB) ja heksaklooribentseeni (HCB))
- kaksi tahatonta sivutuotetta, dioksiinit (PCDD) ja furaanit (PCDF).

12 aineen POP-yhdisteitä käytetään tai syntyy teollisuudesta, maataloudesta ja tautien valvonnasta.

1970-luvulla kaikki 9 torjunta-ainetta ja PCB-yhdistettä kiellettiin tai niitä käytetään jyrkin käyttörajoituksin monissa maissa. Jotkin näistä POP-yhdisteistä ovat yhä käytössä osissa maailmaa, jossa niitä pidetään välttämättöminä kansanterveyden varmistamiseksi.

Näiden aineiden käytön vähentämiseksi edelleen niissä maissa on tärkeää ymmärtää, mitkä maat käyttävät POP-yhdisteitä ja miten ne käyttävät POP-yhdisteitä.

### Aldrin

Aldriini on torjunta-aine maaperään, joka tappaa termiittejä, heinäsiirkoja, maissitoukkia ja muita hyönteisten tuholaisia. Sitä käytetään myös puiden rakenteiden suojelemiseen termisteiltä. Aldriini muuttuu helposti dieldriiniksi kasveissa ja eläimissä, ja näin ollen näiden kemikaalien tähteet ovat tavallisesti pieniä määriä. Aldriinilla on alhainen myrkyllisyys kasveille, mutta sillä on haitallisia vaikutuksia vedessä eläville selkärangattomille, erityisesti hyönteisille. Altistuminen aldriinille on aiheuttanut kuolemaa vesieläimissä, linnuissa, kaloissa ja ihmisissä. Kansainvälinen kemikaaliturvallisuusohjelma (IPCS) arvioi, että kuolemaan johtava annos ihmisille on 5 grammaa. Yleisin ihmisen altistumisreitti on elintarvikkeiden, erityisesti maitotuotteiden ja lihan kautta. Aldriini on kielletty tai merkittävästi rajoitettu monissa maissa (UNEP, 2010, WHO, 2010).

### Chlordane

Chlordane on viljelykasvien (vihannekset, jyvät, perunat, hedelmät, puuvillat jne.) monipuolinen maataloushyönteismyrkky. Sitä käytetään myös termiittien torjuntaan. Chlordane pysyy maaperässä pitkään (puoliintumisaika yksi vuosi). Chlordane voi tappaa vedessä eläviä selkärangattomia, kaloja ja lintuja. Chlordaanin epäillä vahingoittavan ihmisen immuunijärjestelmää ja se on lueteltu mahdollisena ihmisen syöpää aiheuttavana aineena. Yleisin ihmisen altistumisreitti on ilmassa, erityisesti sisätiloissa. Chlordane on havaittu asuinympäristöissä (USA, Japani), ja se on kielletty monissa maissa (WHO, 2016).

### DDT



DDT:tä käytettiin laajalti toisen maailmansodan aikana suojaamaan sotilaita ja siviilejä malarialta, typhukselta ja muilta hyönteisten leviämiltä sairauksilta. Sodan jälkeen DDT:tä käytettiin edelleen tautien (malaria jne.) torjuntaan ja sitä ruiskutettiin maataloudessa viljelykasveille, erityisesti puuvillalle. Sen vakauden ja pysyvyyden vuoksi (yli 50% voi jäädä maaperään 10-15 vuoden kuluttua levittämisestä), DDT:n jäämiä on havaittu arktisella alueella. DDT:llä kontaminoitu elintarvike on väestön suurin altistumlähde. Pitkäaikainen altistuminen liittyy kroonisiin terveysvaikutuksiin (immuunijärjestelmän huononeminen ja estrogeenin muutokset). DDT on lueteltu mahdollisena ihmisen syöpää aiheuttavana aineena. Vaikka sen käyttö on ollut kielletty monissa maissa, DDT:tä on havaittu elintarvikkeissa ja rintamaitoissa kaikkialla maailmassa. Tähän mennessä 34 maata on kieltänyt DDT:n ja 34 ovat rajoittaneet sen käyttöä (Tukholman yleissopimus 2007, EMEP, 2008, UNEP, 2010, WHO, 2010).

### **Dieldrin**

Dieldriiniä käytettiin termiitteihin, hyönteisten levittämiin sairauksiin ja maataloudessa eläviin hyönteisiin. Sen puoliintumisaika maaperässä on 5 vuotta. Aldriini muuttuu nopeasti dieldriiniksi, joten dieldriinin pitoisuudet ympäristössä ovat korkeammat kuin dieldriinin käyttö. Dimetriini on erittäin myrkyllistä kalalle ja muille vesieläimille ja vaikuttaa ihmisen immuunijärjestelmään. Dieldriinitähteitä on havaittu ilmassa, vedessä, maaperässä, kaloissa, linnuissa ja nisäkkäissä, mukaan lukien ihmiset, jotka altistuvat dieldriinille elintarvikkeiden kautta (lähinnä maitotuotteita ja eläinten lihoja). Dieldriini oli toiseksi yleisin torjunta-aine, joka havaittiin Yhdysvaltain pastöroitua maitoa koskevassa tutkimuksessa (UNEP, 2010, WHO, 2016).

### **Endrin**

Endrin on hyönteismyrkky, jota käytetään puuvillan, riisin ja maissin hyönteisten torjuntaan. Sitä on myös käytetty jyrsijöihin, hiiriä ja rottia vastaan. Eläimet voivat metaboloida endriiniä, joka ei kerääny rasvakudokseen muiden POP-

yhdisteiden kanssa. Endriini on myrkyllistä kaloille ja muille vesieläimille, ja sillä on pitkä puoliintumisaika, aine pysyy maaperässä 12 vuotta. Endriinin epäillään heikentävän ihmisen immuunijärjestelmää. Kuten monet muutkin POP-aineet, ihmiset altistuvat endriinille elintarvikkeen kautta, vaikka saantiarvot ovat yleensä hyvin alhaiset (Tukholman yleissopimus 2007, UNEP, 2010).

## Heptachlor

Heptakloori on hyönteismyrkky, jota käytetään maaperän ja kasvien hyönteisten torjuntaan (erityisesti puuvillaan), termiitteihin, harmaaseen, muurahaisiin ja hyttysiin (malarian torjuntaan). Heptakloori metaboloituu heptaklooripoksidiksi, jolla on samanlainen toksisuusaste heptakloorille. Nautaeläinten verestä on havaittu jäännöksiä Yhdysvalloista ja Australiasta. Heptakloori on myrkyllistä villieläimille jopa alhaisina pitoisuuksina. Linnuissa (Kanadasta ja Yhdysvalloista) altistuminen heptakloorille aiheutti käyttäytymismuutoksia, vähentää toistettavuutta ja kuolleisuutta. Elintarvikkeet ovat suurin altistumislähde ihmisille. Heptakloori on lueteltu mahdollisena ihmisen syöpää aiheuttavana aineena. Useat maat ovat kieltäneet tai rajoittaneet heptakloorin käyttöä (Tukholman yleissopimus 2007, EMEP, 2008, WHO, 2010).

## Mirex

Hyönteismyrkky Mirexiä käytettiin muurahaisia, termiittejä vastaan (Yhdysvallat, Etelä-Amerikka, Afrikka).

- Mirexiä käytetään myös palonestoaineina muoveissa, kumissa, maalauksissa ja sähkölaitteissa.
- Mirex on yksi vakaimmista ja pysyvistä POP-yhdisteistä, joiden puoliintumisaika on kymmenen vuotta.
- Mirex on myrkyllinen kasveille, vesieläimille (äyriäisille, kaloille) ja linnuille.
- Ihmiset altistuvat mirexille ruokavalionsa (lihaa, kalaa, villieläimiä) kautta.

## Toxaphene

Tofaksi on hyönteismyrkky, jota käytetään suojaamaan puuvillaa, viljan hedelmiä, pähkinöitä ja vihanneksia.

- Toksapeeni (seos, jossa oli jopa 670 kemikaalia) oli yleisimmin käytetty torjunta-aine USA:ssa vuonna 1975. 50% vapautuneesta toksapeenista voi säilyä maaperässä jopa 12 vuoden ajan.
- Tofaksi ei ole myrkyllinen kasveille, mutta se on erittäin myrkyllinen kaloille ja linnuille.
- Ihmiset altistuvat toksapeenille ruokavalion kautta, ruoan tasot ovat yleensä alhaisia.
- Tofaksi on lueteltu mahdollisena syöpää aiheuttavana aineena (UNEP, 2010; WHO, 2010).

## Polyklooratut bifenyylit (PCB)

- PCB-tuotteita valmistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1929 ja niitä käytetään teollisuudessa lämmönsiirtoaineina, sähkömuuntamoissa ja kondensaattoreissa (joita käytetään edelleen) maalien, liimojen ja muovien lisäaineina. PCB:t ovat epätäydellisen palamisen ja joidenkin teollisten prosessien sivutuotteita.
- 209 erilaisesta PCB-typistä 13:ssa esiintyy dioksiinin kaltaista toksisuutta.
- Niiden kestävyys ympäristössä riippuu kloorauksen asteesta, puoliintumisajat voivat vaihdella 10 päivästä puoleen vuoteen.
- Useat maat lopettivat tuotannon 1970-luvulla, mutta PCB:t pysyvät ympäristössä vuosikymmeniä, ja ne siirtyvät organismeihin ja bioakkumulaatioihin. PCB-yhdisteet ovat myrkyllisiä vesieliöille, kaloille ja luonnonvaraisille lajeille.
- Krooninen altistuminen saattaa muuttaa maksaentsyymejä, aiheuttaa kehitysvammaisuutta, henkisiä häiriöitä ja käyttäytymishäiriöitä, immunosuppressiota ja mahdollisesti syöpää.

- Ihmiset altistuvat PCB-yhdisteille ruokavalionsa kautta. Kasviöljyt ja runsaasti rasvaa sisältävä maito, kala ja merinisäkkäät ovat vaarassa PCB-kontaminaatiosta.
- WHO:n kansainvälinen syöpätautien virasto asettaa PCB-yhdisteet todennäköiseksi ihmisen syöpää aiheuttavaksi aineeksi (WHO 2016; UNEP 2010; Ding et ai., 2013; WHO 2016).

### Heksaklooribentseeni (HCB)

- HCB-yhdisteitä valmistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1945 siementen käsittelyyn (erityisesti vehnä).
- 1980-luvun puolivälissä useimmat valtiot lopettivat valmistuksensa.
- HCB syntyy tahattomana sivutuotteena torjunta-aineiden, orgaanisten kemikaalien (liuottimien, väriaineiden) ja puunsuoja-aineiden valmistuksesta.
- HCB-yhdisteitä syntyy epätäydellisestä palamisesta (yhdyksuntajätteen polttaminen, polttoaineet).
- Ihmisten, eläinten, kalojen ja lintujen akuutti altistus HCB:lle aiheuttavat munuais- ja maksavaurioita, keskushermostoa, hengityselinten neurologisia ja aineenvaihduntasairauksia, kuoleman. Elintarvikkeet (maitotuotteet, eläinliha) kaikkialla maailmassa sisältävät HCB: tä, jota on myös esiintynyt arktisessa ilmassa, lumessa, merivedessä, kasvillisuudessa, biota. Torjunta-aineissa (simatsiini, atratsiini) vapautuu 100% HCB-epäpuhtauksista ilmassa, mikä aiheuttaa terveystarveä applikaattoreille. (Ding et ai., 2013, WHO, 2016).

### Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PCDD)

- PCDD-valmistetta syntyy tahattomasti puutteellisesta palamisesta (sairaalan jätteiden, kunnallisten ja vaarallisten jätteiden, kivihiilen, turpeen, puun polttamisesta), torjunta-aineiden ja muiden kloorattujen aineiden valmistuksen aikana.



- Dioksiineja esiintyi maaperässä 10-12 vuotta ensimmäisen altistuksen jälkeen.
- Lipofiilisyytensä takia dioksiinit kerääntyvät ihmisiin ja luonnonvaraisiin kudoksiin.
- Pienet määrät saastuneessa vedessä voivat biokertyä elintarvikeketjun vaarallisiksi pitoisuuksiksi. Elintarvikkeet (eläimistä) ovat suurin altistumlähde ihmisille.
- Dioksiineilla voi olla vaikutuksia lisääntymiskykyyn, immuunijärjestelmän vaurioihin, kilpirauhashäiriöihin, hermoston häiriöihin, diabetekseen ja ne ovat teratogeeneja, perimän muutoksia aiheuttavia aineita, syöpää aiheuttavia aineita. Dioksiineja esiintyy kaikilla ihmisillä, ja teollisuusmaissa elävien ihmisillä on korkeammat tasot. Dioksiinien arvioitu eliminaation puoliintumisaika on ihmisillä 7,8 - 132 vuotta. (Ding et. ai. 2013, WHO, 2010, WHO, 2016).

### Polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF)

- PCDF- ja furaaniyhdisteitä syntyy tahattomasti samoista prosesseista, jotka tuottavat dioksiineja ja PCB-yhdisteitä, joita havaitaan jätteenpolttouuneissa ja autojen päästöissä.
- Furaanit ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin dioksiinit ja aiheuttavat monia toksisia vaikutuksia.
- 135 erilaisella PCDF: llä on vaihteleva myrkyllisyys ja pysyvät ympäristössä pitkään.
- Elintarvikkeet (erityisesti rasvattomien eläintuotteiden) ovat suurin altistumlähde ihmisille.
- Furaanit luokitellaan mahdollisiksi ihmisen syöpää aiheuttaviksi aineiksi (Ding et ai., 2013; WHO, 2016).

## MUUT POP-YHDISTEET

### Polybromidatut difenyylietterit (PBDE)

- PBDE-yhdisteet ovat palonestoaineita, joita käytetään muovi- ja tekstiilimateriaalien, tietokoneiden, huonekalujen, autojen valmistuksessa. PBDE:t kiellettiin Euroopassa vuonna 2005 ja Yhdysvalloissa vuonna 2003.
- PBDE-yhdisteitä on havaittu korkeina pitoisuuksina sisäpölyssä ja yhdisteet kertyvät ihmisvereen, rasvakudokseen ja rintamaitoon (Yhdysvalloissa 40 kertaa korkeammat kuin Euroopassa).
- Merenisäkkäiden (delfiinit, valaat jne.), lintujen ja kalojen (lohi, tonnikala jne.) on todettu olevan PBDE-yhdisteiden saastuttamia. Tutkimus liitti joitain PBDE-yhdisteiden vaikutuksia kilpirauhasen toimintaan, aivotoimintoihin, urosten hedelmällisyyteen, munasarjojen ja alkion hermojärjestelmän kehitykseen (UNEP, 2010, POPs Fach Sheets).

### Perfluoratut yhdisteet (PFC)

PFC-yhdisteitä käytetään teollisina ja kaupallisina pinta-aktiivisuusaineina. Päinvastoin kuin suurin osa POP-yhdisteistä, jotka sijottuvat rasvakudokseen, PFC-yhdisteet kiertävät veressä ja kerääntyvät pääasiassa maksaan. PFC:t kerääntyvät bioaktiivisesti ja ovat erittäin resistentteja fysikaaliselle hajoamiselle. Tutkimukset osoittivat, että kuluttajatuotteiden (vauvojen lelut, kosmetiikka jne.) kemikaalien, kuten ftalaatit, bisfenoli A, PFC-yhdisteet, ja lisääntymishäiriöt ovat yhteydessä toisiinsa. (UNEP, 2010, POP-aineet).

## VAIHTOEHDOT POP-YHDISTEILLE

POP-yhdisteiden vaihtoehtoihin on monia esteitä uusien puhtaiden teknologioiden mukauttamiseksi erityisesti kehitysmaissa. Jotkut vaihtoehdot ovat kalliimpia sekä hinnaltaan että resursseina, joita tarvitaan sovellettavaksi vanhempien, vaarallisimpien POP-järjestelmien sijaan. Vaihtoehdot voivat olla myrkyllisempiä kuin POP-yhdisteet lisäten ihmisten terveystalukustannuksia. Muut hyväksymiseen liittyvät ongelmat käsittävät sekä vanhempien että uusien

yhdisteiden koulutusta, joka koskee tuotantoketjun kaikkia yksittäisiä käyttäjiä ja myyjiä. Infrastruktuureja koskevat säännöt, joita tarvitaan hallitsemaan POP-yhdisteiden vaihtoehtojen käyttöä ja kouluttamaan yksilöitä, eivät ole täysin kehittyneet kaikissa maissa (UNEP, 2010; WHO, 2016).

## YHTEENVETO

POP-YHDISTEILLE on ominaista lipofiilisyyttä, pysyvyys ja puolihihtuvuus. Ne ovat ominaisuuksia, jotka määräävät POP-yhdisteiden pysyvän ympäristössä ja ovat pitkän kantaman kulkeutujia ja kertyvät napa-alueille maailmassa, kauaksi mistä tahansa käyttölähteestä. POP-yhdisteet tunnetaan myös niiden kyvystä rikastua ja konsentroitua tyypillisissä ympäristöolosuhteissa saavuttaen mahdollisesti myrkyllisiä pitoisuuksia. POP-yhdisteisiin liitetään monenlaisia haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen tai ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia, kuten lisääntymisen häiriöt ja hormonaaliset häiriöt ja immunosuppressio. Monissa tapauksissa POP-yhdisteitä pidetään mahdollisesti syöpää aiheuttavina ihmisille kansainvälisen IARC-syöpäjärjestön mukaan. POP-yhdisteiden myrkyllisten ominaisuuksien vuoksi ne ovat uhkana ihmisille ja ympäristölle. Siksi viime vuosina kansainvälinen yhteisö vaatinut pikaisia maailmanlaajuisia toimia POP-yhdisteiden vähentämiseksi ja niiden vapautumisen ehkäisemiseksi sekä kartoittamaan mahdollisia riskejä ihmisten terveydelle ja ympäristölle (UNEP, 2010; EMEP, 2014; WHO 2016).

## LÄHTEET

1. AMAP 2014. Technical Report No.7.Trends in Stockholm Convention on POPs in Arctic Air, Human media and Biota.
2. Dewailly, E., et al. Susceptibility to infections and immune status in Inuit infants exposed to organochlorines. Environ.Health Perspect. 108, 2000.
3. Ding, L., Y. Li, P. Wang, X. Li, Z. Zhao, T. Ruan, Q. Zhang. 2013. Spatial concentration, congener profiles and inhalation risk assessment of dioxins/furans and PCBs in the atmosphere of Tianjin, China. Chinese Sci. Bull. (2013).

4. EMEP, 2008. Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2006.
5. EMEP, Status Report 2014. POPs in the Environment.
6. POPs Facht Sheets. Blue Voice Organization. [www.bluevoice.org](http://www.bluevoice.org)
7. Ritter, L., Solomon, K. R., Forget, J., Persistent Organic Polutants. A review of selected POPs. The International Programme on Chemical Safety (IPCS), WHO, 1997.
8. Stockholm Convention, POPs Review Committee, 2007.
9. UNEP New POPs 2010. An introduction to the nine chemicals added to Stockholm, Convention, Conference of the Parties at its fourth meeting.
10. WHO EU, 2016, WHO Regional Office for Europe. Health risk assessment of air pollution. General principles, 2016.
11. WHO, 2010 Preventing disease through healthy environments. Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern.





**VNiVERSIDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA DI BOLOGNA



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences

**U. PORTO**



UNIVERZITA  
KARLOVA



Universitatea  
TRANSILVANIA  
din Braşov



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales  
Headquarters office in Salamanca.  
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.  
Contact Phone: +34 663 056 665



This work is licensed under a Creative  
commons attribution – non commercial 4.0  
international license