

Juomaveden desinfiointin sivutuotteet ja terveyshaitat

- [Trihalometaanit](#)
- [Bromodikloorimetaani](#)
- [Klooratut furanonit](#)
- [Halogenoidut etikkahapot](#)
- [Bromaatti](#)
- [Terveyshaittana lisääntynyt syöpäriski](#)

Kun raakavettä desinfioidaan talousvedeksi, veteen syntyy epäpuhtauksia, jos raakavesi sisältää epäpuhtauksien lähteeksi sopivaa orgaanista ainesta. Pintavesi (joki- ja järvivesi) sisältää eniten tällaisia aineita, kuten humusta. Pohjavedessä (kaivovesi) niitä on vähiten. Mitä puhtaampaa raakavesi on, sitä vähemmän syntyy epäpuhtauksia. Kun desinfiointiin käytetään tavallisinta desinfiointitapaa, kloorausta, veteen syntyy erilaisia kloorattuja yhdisteitä kloorin reagoiessa orgaanisen aineen kanssa. Humuspitoisesta pintavedestä kloorattu juomavesi saattaa sisältää pieniä määriä satoja erilaisia epäpuhtauksia. Jos vedessä on bromidia, syntyy myös bromattuja epäpuhtauksia.

Talousvettä voidaan desinfioida myös muilla menetelmillä, mm. otsonoimalla. Otsonointi saattaa myös tuottaa haitallisia sivutuotteita. Bromipitoista vettä otsonoitaessa syntyy mm. bromaattia.

Kloorauksen yhteydessä syntyvistä epäpuhtauksista ehkä eniten on tietoa trihalometaanista, klooratuista furanoneista ja halogenoiduista etikkahapoista. Niiden epäillään aiheuttavan terveyshaittoja, lähinnä vähäisen syöpäriskin.

Trihalometaanit

Juomavettä on kloorattu 1900-luvun alkupuolelta lähtien ja sen uskottiin olevan täysin haitatonta käyttäjille, kunnes 1974 klooratusta juomavedestä todettiin kloroformia. **Kloroformi** on koe-eläimille syöpää aiheuttava aine (mm. maksa- ja munuaiskasvaimia), mutta koska se ei ole mutageenista, on epätodennäköistä, että se ainakaan yksinään olisi juomavedessä syöpää aiheuttava aine. Kloroformia pidetään syövän promoottorina eli se edistää jo alkaneen kasvaimen kehittymistä. Juomavedessä esiintyvien kloroformipitoisuuksien promootiovaikutusta ei tiedetä.

Bromodikloorimetaani

Bromodikloorimetaani on mutageenista ja aiheuttaa koe-eläimissä kasvaimia (munuais- ja maksakasvaimia). Sitä pidetään mahdollisesti ihmiselle syöpää aiheuttavana aineena. Myös **klooridibromometaani** on mutageenista, mutta sen karsinogeenisuudesta edes koe-eläimissä ei ole varmaa tietoa.

Klooratut furanonit

Klooratut furanonit ovat mutageenisia epäpuhtauksia. Eniten tietoa on yhdisteestä, josta käytetään lyhennettä **MX** (3-kloori-4-(diklorimetyyli)-5-hydroksidi-2(5H)-furanoni). MX on hyvin mutageenista bakteereilla tehdyissä mutageenisuustesteissä (Ames-testi), joilla juomaveden mutageenisuutta testataan. MX on selittänyt enimmillään jopa 67 % juomaveden mutageenisuudesta. Useat klooratut furanonit ovat kuitenkin yhtä mutageenisia, kun mutageenisuutta tutkitaan nisäkkäiden soluilla.

MX on karsinogeenista rotalle, kasvaimia syntyy mm. maksaan ja kilpirauhasiin. Muiden kloorattujen furanonien karsinogeenisuutta ei ole tutkittu. Kloorattuja furanoneja pidetään yhtenä mahdollisena ryhmänä aiheuttamaan kloorattuun juomaveteen liittyvää syöpäriskiä. Kloorattujen furanonien pitoisuudet klooratussa juomavedessä ovat alhaisia (1-100 nanogrammaa/l verrattuna esimerkiksi trihalometaanipitoisuuksiin (1-100 mikrogrammaa/l). Ne saattavat ryhmänä yhdessä edistää syövän syntymää.

Halogenoidut etikkahapot

Dikloorietikkahapon ja **trikloorietikkahapon** terveysvaikutuksista on eniten tietoa. Molemmat epäpuhtaudet aiheuttavat koe-eläimissä kasvaimia eli ovat karsinogeenisia. Molemmat aineet ovat myös mutageenisia, dikloorietikkahappo voimakkaammin kuin trikloorietikkahappo. Niitä on pidetty ensi sijassa syövän promoottoreina, mutta todellinen rooli ihmiskarsinogeneena on epäselvä. Halogenoitujen etikkahappojen pitoisuus klooratussa vedessä on 1-150 mikrogrammaa/litra.

Klooratussa vedessä on myös bromattuja etikkahappojohdoksia, jos raakavesi sisältää bromidia. Dibromi- ja tribromietikkahappo ovat olleet mutageenisimpia aineita mutageenisuustesteissä kuin vastaavat klooratut hapot, joten nekin voivat aiheuttaa syöpäriskiä.

Sekä dikloorietikkahappo että trikloorietikkahappo aiheuttavat koe-eläimille epämuodostumia kun niitä annetaan emoilte raskauden aikana. Dikloorietikkahappo aiheuttaa erityisesti sydämen epämuodostumia. Sen sijaan ei tiedetä, aiheuttavatko klooratun juomaveden halogenoidut etikkahapot epämuodostumisriskiä ihmiselle.

Bromaatti

Jos vedenvalmistuksessa käytetty raakavesi sisältää bromidia voi desinfiointissa muodostua bromisivutuotteita. Vaikka raakavesissä oleva bromidi ei sellaisenaan ole terveydelle haitallista se voi reagoida vedenvalmistuksessa käytettyjen hapettimien (kloori ja otsoni) kanssa muodostaen terveydelle haitallisia bromiyhdisteitä.

Otsonin käyttö talousveden valmistuksessa on lisääntynyt Suomessa sen voimakkaan hapetuskyvyn vuoksi. Käyttämällä otsonia on voitu vähentää kloorin käyttöä ja samalla kloorauksen sivutuotteiden muodostumista. Monista eduista huolimatta sillä on myös haittapuolensa. Ongelmallisinta otsonin käyttö on, jos raakavesi sisältää bromidia, koska otsoni pystyy hapettamaan bromidin bromaatiksi, joka on karsinogeeninen, eli syöpää aiheuttava aine. Uuden talousvesiasetuksen mukaan epäorgaanisen bromaatin raja-arvo on 10 µg/l.

Terveyshaittana lisääntynyt syöpäriski

Väestön tutkimukset ovat osoittaneet, että pitkäaikainen pintavedestä tehdyn klooratun juomaveden käyttö aiheuttaa pienen syöpäriskin lisääntymisen. Mm. virtsarakon ja peräsuolen syöpä lisääntyvät (10-30 %). Syöpäriski on sitä suurempi mitä mutageenisempää juomavesi on. Juomaveden mutageenisuutta (kyky vaurioittaa DNA:ta) voidaan käyttää syöpäriskin mittarina. Mutageenista kloorattua juomavettä on todettu useissa maissa, joissa raakavesi sisältää sopivaa orgaanista ainesta, Suomen lisäksi mm. USA:ssa, Kiinassa, Venäjällä, Hollannissa, Japanissa ja Englannissa.

Klooratun juomaveden mutageenisuus Suomessa on ollut korkeimmillaan 1970-luvulla (keskimäärin 3000 nettorevertantia/l pintavesilaitoksilla). Tämä on voitu arvioida takautuvasti laskennallisesti vesilaitosten tiedoista. Sen jälkeen mutageenisuus on vähentynyt ja on keskimäärin enää alle 1000 nettorevertantia/l, koska vesilaitokset ovat siirtyneet käyttämään pohjavettä (sisältää vähän orgaanista ainesta) ja klooraustapaa on muutettu. Syöpäriski lienee vähentynyt vastaavasti.

Koska syöpä tarvitsee kehittyäkseen pitkän ajan (10-20 vuotta), 1980-luvun vedenlaatu vaikuttaa tämän päivän syöpärisktiin ja nykyinen vedenlaatu vielä 2010-luvulla. On arvioitu, että kloorattu juomavesi on aiheuttanut Suomessa enimmillään 50-100 ylimääräistä syöpää vuodessa, alle 0,5 % kaikista syövistä. Nykyisellä juomaveden mutageenisuustasolla syöpiä ilmaantuu arviolta 10-20 vuodessa. Klooratun juomaveden aiheuttama syöpäriski ei ole siten enää merkittävä terveysriski Suomessa. Välttämättömän kloorauksen tuottamat edut ovat haittoja suuremmat.

Jos juomavesi saastuu mikrobeilla (vesiepidemiat), vettä saatetaan joutua klooraamaan tilapäisesti tavallista enemmän vesijohtoverkoston puhdistamiseksi. Näistä tilanteista kerrotaan vesilaitoksilta ja vedenkäyttäjii opastetaan veden käytössä. Kysymyksessä on poikkeustilanne.

Epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat kloorattuun juomaveteen liittyvän syöpäriskin ei varmasti tiedetä. Juomavedessä olevia mutageenisia aineita on epäilty ensimmäiseksi, koska ne pystyvät aiheuttamaan syövän. On todennäköistä että syöpäriskiä lisäävät useat erilaiset epäpuhtaudet yhdessä.