

Maapallo vaakalaudalla

■ **Kotiplaneettamme voi huonosti. Huonosti käy koko ihmiskunnalle, ellemmme kykene panemaan itse aiheuttamiamme uhkia aisoihin.**

JARI KOPONEN

Ihminen ilmestyi maapallolle *Homo habiliksen* eli käteväihmisen muodossa pleistoseenikaudella pari miljoonaa vuotta sitten. Aikakauden ilmasto-olot olivat rajusti vaihtelevat ja pääsyy siihen, että ihmispopulaatioiden määrä pysyi pienenä ja laji kehittymättömänä.

Olosuhteet muuttuivat, kun pleistoseeni vajaan 12 000 vuotta sitten vaihtui holoseeniksi, nykyiseksi geologiseksi jaksoksi eli epookiksi. Sille on ollut ominaista poikkeuksellisen pitkäkestoinen vakaa ilmasto.

Holoseenin myötä syntyi ihmisuville varsinainen Eeden, joka mahdollisti lajin nopean kehityksen.

Viime aikoina Eedenin vakaus on kuitenkin alkanut murentua. Ensimmäiset merkit horjumisesta olivat havaittavissa 1950-luvun loppupuolella, josta lähtien trendi on vain kiihtynyt.

Teollisuuden päästöt ovat saastuttaneet ilmakehää ja vesivarantoja, luonnonvaroja on ylikulutettu, ja biologinen monimuotoisuus vähenee.

Perussyynä horjuntaan on väestöräjähdyks, joka on saanut aikaan pirstoutuneen, keskenään kilpailevan ihmiskunnan. Omat lyhyen ajan edut peittävät alleen yhteiset tulevaisuuden uhat.

Monet maapallon keskeiset prosessit ovat suistumassa pitkäaikaisesta tasapainostaan. Yli 10 000 vuotta kestänyt vakiintunut tila on monilta osin silmänräpäyksellisessä muutoksessa, mikä uhkaa johtaa uuteen geologiseen epookkiin.

Ihmiskunnan yhdeksän "kuolemansyntiä"

Arvostettu tutkimuslaitos Tukholman resilienssikeskus (kansainväliseltä nimeiltään Stockholm Resilience Centre) on jo toistakymmentä vuotta tutkinut ilmastonmuutoksen riskitekijöitä. Kaikki uhat ovat ihmisen toimien seurauksia.

Tutkijoiden ideana on ollut jakaa keskeiset uhkatekijät lohkoihin, arvioi-

da kullekin lohkolle turvarajat ja määrittää nykytilanne. Keskuksen uusien, kemiallista saastumista koskeva tutkimusartikkeli julkaistiin vuoden 2022 tammikuussa.

Tunnistetut uhkatekijät voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin. Ilmastonmuutos ja valtamerien happamoituminen ovat globaaleja uhkia, joiden turvarajan määrittämiseen on objektiiviset perusteet.

Ilmakehän otsonipitoisuus kuuluu osin samaan luokkaan, sillä se on myös alueellinen: otsonikato keskittyy ensisijaisesti napa-alueille.

Lopuista uhista neljällä on osittain maailmanlaajuisia mutta pääosin alueellisia vaikutuksia. Eri uhkatyyppien keskinäiset kytkennät kuitenkin tekevät kaikista osan globaalia kokonaisuutta.

Tutkijoiden asettamalla raja-arvoilla on tietty epävarmuusalue, joka on määritelty tapauskohtaisesti ja muista uhkatekijöistä riippumattomasti.

Yksi keino määrittelyä tehtäessä on ollut vertailu esiteollisen ajan arvoihin. Niille tekijöille, joiden osalta esiteollisen ajan tilanne tiedetään, saadaan tietty varma, turvallinen pohja-arvo.

Tähänastisten tutkimusten perusteella saadut uhkatekijäkohtaiset tulokset antavat aihetta pikaisiin toimiin, jos maapalloa odottavat ongelmat halutaan kyetä ratkaisemaan.

Ilmastonmuutos uhkien ykkönen

Ilmastonmuutos eli ilmaston lämpeneminen nykyisestä on kiistattomin ja parhaiten tunnettu uhka, jonka pääasiallisena aiheuttajana ovat hiilidioksidipäästöt.



Kuvat: Adobe Stock

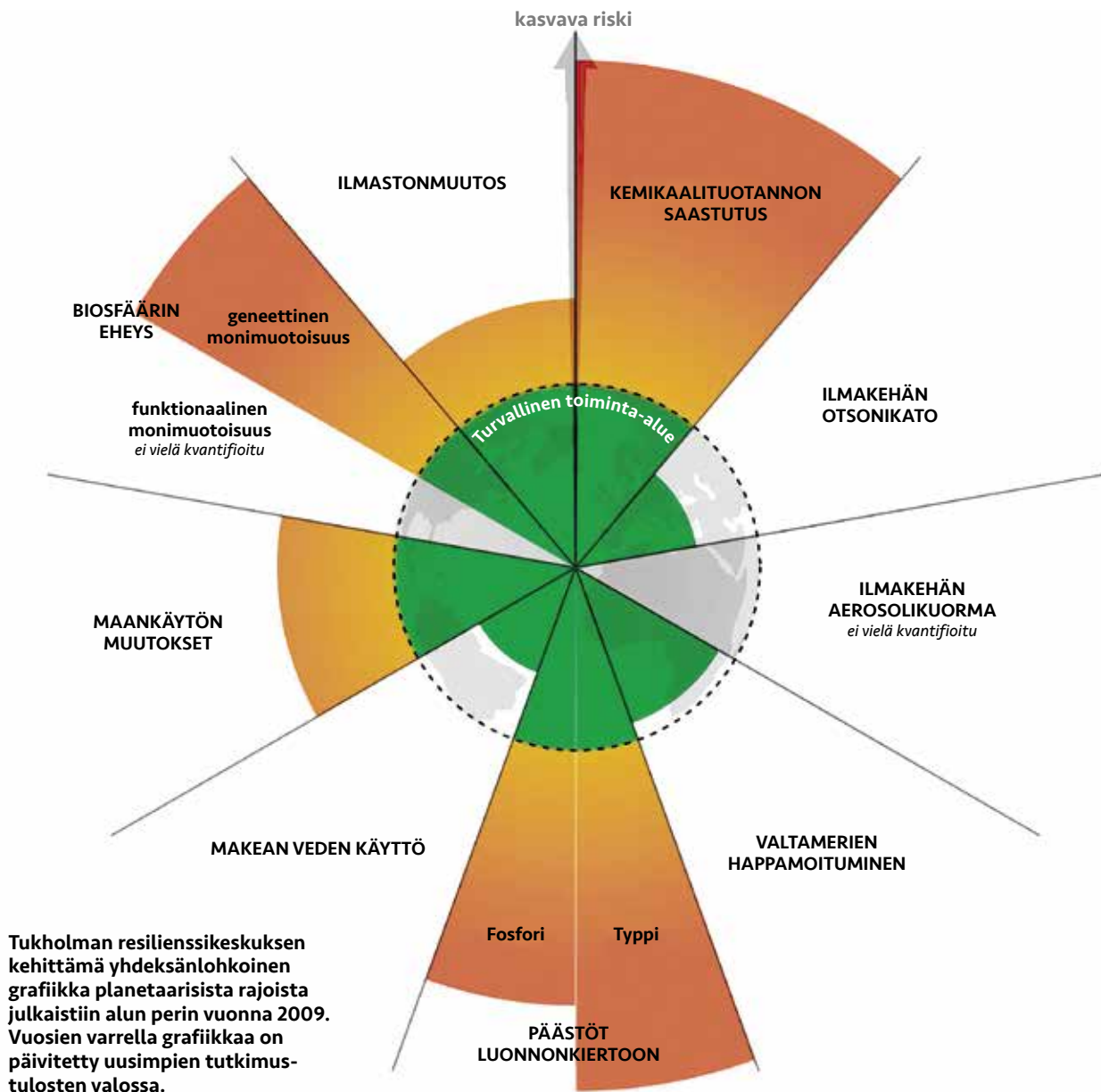
Valtamerien happamoituminen uhkaa sekä niiden elimistön biodiversiteettiä että hiilinieluinä toimimista.

» » »

**Emme tiedä,
mikä on piste, josta
ei ole paluuta**



**Jos päästämme planeettamme
tasapainon horjahtamaan
lopullisesti, edessä odottaa
tuntematon tulevaisuus.**



Hiilidioksidipäästöjen toinen seuraus on niiden vaikutus auringon säteilyvoimaan ilmakehän ylärajalla.

Paleoklimatologisesta datasta käy ilmi, että jäätömälle planeetallemme alkoi muodostua jäätiköitä, kun ilmakehän hiilidioksidipitoisuus laski arvoon 450 ± 100 ppm (parts per million, yksikköä miljoonaa kohti).

Hiilidioksidipitoisuuden osalta turvarajan alaraja on siten 350 ppm.

Esiteollisen ajan vastaava arvo oli 280 ppm. Nykyään olemme luvussa 387 ppm.

Planeettamme on selvästi lämpenemässä. Ilmiön jo nyt nähtävissä oleva seuraus on ympäri maapalloa tapahtuva jäätiköiden ja ikiroudan sulaminen.

Lämpenemisen pysäyttäminen on välttämättömyys. Se on myös tehtävä

mahdollisimman pikaisesti, sillä toivo lämpenemisen rajoittamisesta 1,5 asteeseen verrattuna esiteolliseen aikaan on jo mennyt.

Happamoituvat meret kaksinkertainen uhka

Valtamerien happamoituminen uhkaa sekä meren elämistön biodiversiteettiä että valtamerien toimimista hiilidioksidinieluinä.

Merien pintavesien happamuus on kasvanut 0,1 pH-yksikköä sitten esiteollisen ajan. Vauhti on yli sata kertaa nopeampi kuin minään muuna aikana 20 miljoonan viime vuoden mittaan.

Valtamerien pintavesien happamoitumista voidaan seurata merieläinten tuottaman aragoniitin – joka on eräs

kalsiumkarbonaatin muoto – pitoisuuksista. Mittarina on yhdisteen keskimääräisen kyllästymisluvun pieneneminen.

Tulosten mukaan esiteollinen luku-arvo oli 3,44.

Nykyinen arvo on 2,90 ja ehdotettu raja-arvo 2,75.

Vaikka raja-arvoa ei vielä ole rikottu, ensimmäinen varoitus eli koralliriutujen, herkimpien meriekosysteemien, tuhoutuminen jo alkanut.

Lajikato vähentää monimuotoisuutta

Paikallisilla ja alueellisilla lajikadoilla on laajakantoisia haitallisia vaikutuksia ekosysteemien toimintaan. Tämä voi vaikuttaa ekosysteemin kykyyn rea-

goida ja mukautua muuttuviin fyysisiin ja biologisiin olosuhteisiin.

Nykytilanne on johtamassa planeetan laajuiseen kuudenteen laajamittaiseen sukupuuttoaaltoon.

Aiemmat ihmisen toiminnasta johduneet sukupuutot kohdistuivat eristyneisiin valtamerien saariin. Viime vuosikymmeninä noin puolet lajikadoista on tapahtunut mantereilla.

Suurin syy tähän on ihmisen toteuttama maankäytön muutos. Malliesimerkiksi käy meneillään oleva Amazonin sademetsien tuhoaminen.

Lajikadon rajojen määrittely on hankalaa. Vertailukohtana voidaan käyttää merieläinten fossiilien perusteella tehtyä arviota, jonka mukaan lajikadon määrä on ollut 0,1–1,0 sukupuuttoa miljoonaa lajia ja vuotta kohden.

Tähän verraten nykyinen arvo on yli sata, kun tutkijat esittävät turvallisiksi rajaksi kymmentä.

Lajikatojen rajojen määrittely on vain asian yksi puoli. Toinen puoli on se, mitkä ovat seuraukset ekosysteemien toiminnallisuudelle, kun muodostunutta tasapainoa horjutetaan poistamalla siitä lajeja. Tällaista koko biosfäärin funktionaalista monimuotoisuutta koskevaa arviointia ei ole vielä pystytty tekemään.

Typen ja fosforin kierto pahasti häiriintynyt

Luonnon typpi- ja fosforikierto on häiriintynyt ihmisen aiheuttaman lisäkuormituksen vuoksi. Kuormitus kohdistuu paljolti vesistöihin, järviin ja meriin, jotka muuttuvat vähäravinteisista rehevöityneiksi sekä vähähap-

pisemmiksi. Tämä puolestaan johtaa vesiekosysteemien tuhoon.

Monimutkaisen tyyppikuormituksen likimääräiseksi mittatikuksi valittiin ihmisen ilmacehstä omaan käyttöön – muun muassa ammoniakkinä ja lannoitteina – siirtämä typen määrä.

Tähän liittyvät luvut (miljoonä tonnia/vuosi) arvioitiin seuraaviksi: esteollinen aika 0, nykyarvo 121 ja ehdotettu raja-arvo 35.

Maapallolla louhitaan vuosittain noin 20 miljoonaa tonnia fosforia, josta 8,5–9,5 miljoonaa tonnia joutuu järviin ja meriin. Tämä tarkoittaa kahdeksankertaista kuormitusta luonnolliseen kuormitukseen verrattuna.

Vaikutukset merien syvemmissä osissa näkyvät vasta hyvin pitkällä aikavälillä. Toisin sanoen merien pohjiin kerääntyy hiljalleen tikittävä aikapommi, jonka laukeamisesta saavat kärsiä jälkeläisemme.

Tilanne on toinen matalissa vesistöissä, joissa paikallisten fosforikuormitusten aiheuttama vähähappisuuden uhka on välitön.

Raja-arvoksi fosforivuolle vesistöihin tutkijat esittävät 11 miljoonaa tonnia vuodessa, kun nykyarvo on 8,5–9,5.

Amazonia esimerkki maankäytön muutoksista

Metsien ja muiden luonnon ekosysteemien muuttaminen viljelymaiksi ja asutuskeskuksiksi on lisääntynyt 50 viime vuoden aikana 0,8 prosentin vuosivauhtia.

Tämä on johtanut siihen, että tätä nykyä noin 12 prosenttia kaikesta jäätömästä maa-alasta on viljeltyä.



Puusammakko on yksi Amazonin sademetsien hakuista kärsivä laji.



Kuvat: Adobe Stock

Makea vesi on ihmisen elinehto. Valintamme ratkaisevat, riittääkö sitä tuleville sukupolville.

Tällaisella toiminnalla on vaikutusta biologiseen monimuotoisuuteen, makean veden saatavuuteen ja ilmastoon.

Nopeasti tehdyillä laaja-alaisilla muutoksilla voi olla odottamattomia seurauksia. Esimerkiksi Amazonin sademetsien kiihtyvä hakkaaminen viljelymaaksi saattaa tehdä alueesta puolikuivan savannin.

Tutkijat arvioivat maankäytön turvarajaksi 15 prosenttia maa-alasta. Kehityksen nykyisellä vauhdilla raja saavutettaneen muutamassa vuosikymmenessä.

Makeaa vettä kuluu huomasti

Maapallon makean veden varat voidaan jakaa kolmeen luokkaan.

Vihreällä vedellä tarkoitetaan maaperän kosteutta, sinisellä järvien ja jokien vettä. Kolmas varanto on ilmakehän kosteuden sisältämä vesi.

Arvioiden mukaan 90 prosenttia maapallon vihreän veden kierrosta tarvitaan ekosysteemien ylläpitoon. Sinisen veden kierrosta 20–50 prosenttia vaaditaan vesiekosysteemien toimintaan.

Sateina maahan lankeava ilmakehän kosteus on välttämätön osana molempien edellä mainittujen kiertoa. >>>



Ilmakehän otsonikato on ainoa uhka, jonka ihmiskunta on onnistunut torjumaan.

» » »

Ruotsalaiskeskuksen tutkimuksen mukaan makean veden käyttöarvio oli esiteollisella ajalla 415 kuutiokilometriä vuodessa. Nykyarvo on 2 600 ja tutkijoiden esittämä raja-arvo 4 000.

Stoppi otsonikadolle onnistumisen airut

Stratosfäärin eli yläilmakehän otsonikerros toimii suodattimena, joka poistaa auringon säteilystä sen ultraviolettikomponenttia. Ultravioletti säteilyn suitsiminen on tärkeää, sillä se on muun muassa terveysuhka ihmisille.

Ilmakehän otsonikato on tähän mennessä ainoa uhka, jonka etenemisen ihmiskunta on onnistunut pysäyttämään. Se tapahtui vuonna 1987 solmitulla kansainvälisellä sopimuksella, jolla rajoitettiin CFC-yhdisteiden ja muiden otsonikerrosta tuhoavien aineiden käyttöä.

Ultravioletti säteilyä mitataan dobsonin yksiköissä. Niillä ilmaistuina uv-säteilyn esiteollinen arvo oli 290. Nykyarvo on 283 ja tutkijoiden esittämä raja-arvo 276.

Vaikka pahin uhka on saatu torjuttua, vie vielä vuosikymmeniä ennen kuin ilmakehään syntynyt otsoniaukko on eheytyntä entiselleen.

Ilmakehän aerosoleille ei vielä raja-arvoa

Ilmakehän sisältämät erityyppiset aerosolit eli pienet kiinteät tai nestemäiset hiukkaset ovat muodostuneet useita eri yhdisteistä. Niillä on vaikutuksia muun muassa säteilytasoon, pilvien muodostumiseen ja sateeseen sekä otsonikatoon.

Ilman aerosolit heijastuvat myös ihmisten terveyteen, sillä ne aiheuttavat erilaisia hengitystiesairauksia.

Koska aerosolit ovat hyvin moni-

muotoisia ja niiden vaikutusmekanismit tunnetaan huonosti, niille ei ole vielä kyetty asettamaan raja-arvoja.

Kemiallinen saastuminen vaatii lisää tutkimusta

Maaailman toiseksi suurin teollisuudenhaara on kemianteollisuus. Alan tuotanto on vuodesta 1950 kasvanut 50-kertaisesti ja kasvaa edelleen. Kemian yritykset tuottavat arviolta 350 000:ta erilaista kemikaalia tai kemikaalieseosta.

Näin valtavan yhdistemäärän mahdolliset ympäristövaikutukset ovat vielä arvoitus. Yhdisteiden viipymisajoista ympäristössä ja eri yhdisteiden keskinäisistä vuorovaikutuksista on nykyisellään mahdotonta saada kattavaa tietoa.

Kerätyn datan perusteella ruotsalaiskeskuksen tutkijat kuitenkin päättelevät, että planeettamme kannalta turvallinen raja on jo ylitymässä.

Mitään sen täsmällisempää aiheesta ei voida sanoa. Aiheeseen liittyvä tutkimus on hajallaan ympäri maailmaa.

Tilanteen keskitettyyn arvioimiseen tarvittaisiin hyvin resursoitu kansainvälinen laitos, jonka tehtävänä olisi

kerätä, tutkia ja selvittää kemialliseen saastumiseen liittyviä vaaratekijöitä ja antaa niihin liittyviä suosituksia. Tällainen suositus esitettiin viime vuonna *Science*-lehdessä (*Science* 317 ss. 774–776).

Edessä epävarmuuksien viidakko

Ihmiskunnan nykyisenkaltainen sosiaalinen, taloudellinen ja tekninen kehitys ovat olleet täysin riippuvaisia holoseenianajan suomista stabiileista ympäristöolosuhteista.

Ihmisen toiminta on nyt kyseenalaisammassa tasapainon.

Vaikka tutkimustyötä on tehty paljon, jäljellä on vielä runsaasti epävarmuuksia ja avoimia kysymyksiä.

Tukholman resilienssikeskuksen esittämien, enemmän tai vähemmän epävarmojen arvioiden perusteella olemme toistaiseksi turvarajojen sisällä kolmella lohokolla: otsonikadossa, makean veden käytössä ja merten happamoitumisessa. Viidellä lohkoilla turvarajat on jo ylitetty.

Ilmakehän aerosolikuorman rajaa ei ole pystytty määrittämään.

Tähän mennessä tunnistettujen uh-



Koralli-riutat ovat meri-ekosysteemeistä herkimpiä. Niiden tuhoutuminen on jo alkanut.

Kuvat: Adobe Stock

Syken tutkija Jari Lyytimäki:

”Kunnianhimoinen pyrkimys koota isot ongelmat tiedeperusteisesti yhteen”

Suomen ympäristökeskuksen (Syke) ympäristömuutoksen ja -politiikan johtavaa tutkijaa **Jari Lyytimäkeä** mietityttävät planetaaristen turvarajojen käsitteeseen liittyvät epämääräisyydet.

”Monet esitetyistä uhkatekijöistä eivät ole samalla tavalla globaaleja kuin esimerkiksi ilmastonmuutos”, Lyytimäki sanoo.

Vaikkapa typpi- ja fosforikuormitus on hänen mukaansa hyvin erilainen eri ympäristöissä. Suomen ja Itämeren matalissa vesissä kuormitus voi saavuttaa turvarajan rehevöityneinä ja hapettomina alueina muutamassa vuosikymmenessä.

Entä ovatko paikalliset ja globaalit rajat keskenään vertailukelpoisia? Milä aikaskaalalla saavutetaan rajat maa-

ilmanlaajuisessa mitassa?

”Nämä ovat asioita, joita on vaikea arvioida.”

Sama ongelma koskee myös kemikaalisastumista, jossa paikalliset ja alueelliset erot ovat suuria. Jos haetaan sille globaaleja rajoja, toimiiko ruotsalaiskeskuksen konsepti tällä kohdin lainkaan?

Lyytimäellä on ehdotus:

”Ihmisten verestä on viime aikoina löydetty maailmanlaajuisesti mikro-muovia. Voitaisiko sitä käyttää yhtenä kemiallisen saastumisen mittarina?”

Valokin voi olla saaste

Jari Lyytimäki on myös miettinyt, voisiko yksi uhkatekijöistä olla valosaaste.

Se on ihmisen aiheuttama ja mitattava suure.

Suomalaistutkijan mukaan valosaaste sotkee luontaisia pimeä-valo-rytmejä, millä on todistetusti vaikutuksia niin ekosysteemeihin kuin ihmisen terveyteen.

”Periaatteessa voitaisiin jo määrittää jokin turvallinen raja-arvo keinovalon määrälle. Tutkimuksissa on todettu, että keinovalon käyttö korreloi varsin hyvin ympäristön muun kuormituksen kanssa”, hän perustelee.

Esittämistään varauksista huolimatta Lyytimäki sanoo, ettei tiedä Tukholman resilienssikeskuksen lisäksi mitään muuta tahoa, joka tekisi vastaavanlaista tutkimusta yhtä laaja-alaisesti.

”Kyseessä on kunnianhimoisin hanke siinä mielessä, että siinä pyritään ottamaan tiedeperusteisesti kaikki isot ongelmat yhteen kokonaisuuteen”.

YK:n Kestävä kehitys -ohjelman tavoitteet ovat vielä laajempia, mutta ohjelma etsii ongelmiin lähinnä poliittisia kompromisseja.

Ylikulutuspäivä puolestaan perustuu ekologisen jalanjäljen, käytännössä hiilipäästöjen ja resurssien käytön laskemiseen. Osa laskentaan käytettävästä datasta saadaan jopa viiden vuoden viipeellä.

”Vuositain julkistettu päivämäärä on siten kaikkea muuta kuin tarkka.”



Kuvat: Adobe Stock

Keinovalon vyöry kuormittaa sekä ekosysteemejä että ihmisen terveyttä.

katekijöiden rinnalle voi tulevaisuudessa löytyä lisää uhkia.

Tiedettyjen yksittäisten uhkatekijöiden turvarajojen ylittyminen voi heikentää myös muiden tekijöiden mahdollisuutta pysyä omien turvarajojensa puitteissa.

Tietomme eri uhkatekijöiden keskinäisistä vuorovaikutusmekanismeista ovat puutteellisia. Samoin hyvin suurta epävarmuutta liittyy arvioihin siitä, milloin tasaisesti huononevassa tilanteessa päädytään pisteeseen, josta ei enää ole paluuta.

Iso epävarmuustekijä on myös ihmiskunta ja se, pystyykö se reagoimaan



Mikromuoveja löytyy lähes kaikkialta, mistä niitä keksitään etsiä. Ihmisen elimistöön mikromuovia päätyy etenkin juomaveden mukana.

riittävän ajoissa ja riittävän voimakkaasti itse aiheuttamaansa planetaariseen uhkaan.

Tähän mennessä muodostunut kuva *Homo sapiensin* kyvystä toimia yksituumaisesti ei ole kovin lupaava. Tulevaisuus näyttää, onko ihmisen itselleen antamalla lajinimellä viisas ihminen katetta vai ei. □

Kirjoittaja on tiedetoimittaja.