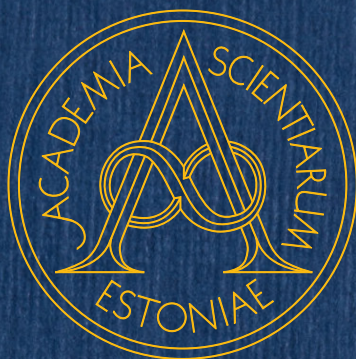




TEADUSMÕTE EESTIS (XI)

GLAABALPROBLEEMID

Facta non solum verba



TEADUSMÕTE EESTIS (XI)

GLOBALPROBLEEMID

TALLINN 2025

Koostajad, vastutavad toimetajad: Ülo Mander ja Jüri Engelbrecht

Koostajad tänavad artiklite autoreid sisuka panuse eest, Piret Lukkaneni ja Ulla Säret Eesti Teaduste Akadeemia Kirjastusest ning keeleteoimetaja Karol Rummit töö eest kogumiku valmimisel

Väljaandmist toetasid järgmised Ülo Manderi juhitud uurimisgrandid:

ERC juhtivteadlase grant nr 101096403, Peatland N2O ja ETAG-i grant PRG2032 „Kuivendatud turbaalade kasvuhoonegaaside emissiooni kahandamine soode taastamise abil (RestPeat)“

Keeleteoimetaja: Karol Rummi

Küljendaja: Ulla Säre

Eesti Teaduste Akadeemia Kirjastus

Trükitud trükikojas Alfapress OÜ

ISSN 1736-5015 (trükiväljaanne)

ISSN 2674-1660 (võrguväljaanne)

ISBN 978-9985-50-435-2 (trükiväljaanne)

ISBN 978-9985-50-436-9 (võrguväljaanne)

© EESTI TEADUSTE AKADEEMIA 2025

SAATEKS ESSEKOGUMIKULE „TEADUSMÕTE EESTIS. GLOBAALPROBLEEMID“ <i>Mart Saarma</i>	5
TEADUSMÕTE EESTIS. GLOBAALPROBLEEMID Ülo Mander, Jüri Engelbrecht	7
KOMPLEKSSÜSTEEMID JA GLOBAALSED MUUTUSED Jüri Engelbrecht.....	10
MÕRAD GLOBAALSE TEADUSE KAUNIS TULEVIKUS Tarmo Soomere	20
EESTI FUNDAMENTAALTEADUSTEST GLOBAALSEL TAUSTAL Martti Raidal	30
ABIOOTILISEST ELUST Jaak Kikas	36
KLIIMAMUUTUSED MAA GEOLOOGILISES MINEVIKUS Kalle Kirsimäe	48
INIMMÕJULISED LOODUSLIKUD ÖKOSÜSTEEMID – PEAMISED KLIIMA SOOJENEMISE PÕHJUSTAJAD Ülo Mander, Jaan Pärn, Mikk Espenberg	56
OOKEAN JA GLOBAALNE SOOJENEMINE Kalle Olli	61
AEROSOODID, KLIIMASÜSTEEM JA KLIIMAMUUTUSED Heikki Junninen	73
ÜLEILMNE PLASTISAASTUS: KAS VÄLTIMATU TAAK? Anne Kahru, Margit Heinlaan	78
SEENTE GLOBAALSED ROLLID MUUTUVAS LOODUSES Maarja Öpik	84
OLNUTELE PROBLEEM, TULNUTELE VÕIMALUS: INIMRÄNNETEST (ESI)AJALOOS Aivar Kriiska	91
GLOBAALSED VÄLJAKUTSED MEDITSIINIS Maris Laan	98

ÜLEILMNE PLASTISAASTUS: KAS VÄLTIMATU TAAK?

akadeemik Anne Kahru, Margit Heinlaan

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

Plast on tänapäeva imematerjal: kerge, mitmekülgne, vastupidav, odav toota ja lihtne töödelda. Viimasest omadusest tuleb vanakreeka keele kaudu ka plasti nimi (plastiline materjal). Plast on sünteetiline materjal, mis lisaks polümeersele komponendile sisaldab veel lisaaineid (iga plast erinevaid). Plastiga seotud lisaaineid on ligikaudu 16 000 (Wagner *et al.*, 2024), sealjuures on osa neist sihipärased (nn funktsionaalsed lisaained) ja teised mitte (nt tootmisprotsessi ebapuhtused). Enamik plastist toodetakse taastumatutest ressurssidest – naftast, maa-gaasist või kivisööst –, kuid on ka bioplaste, mille lähteaineks on taastuvad ressursid (nt toidukultuurid). Ehkki bioplasti tootmine kasvab, moodustab see toodetud plastist alla 1%. Seega kui räägime plastist, siis on see ennekõike naftast toodetud materjal. Hinnanguliselt 6% maailma naftatoodangust kulubki plasti tootmiseks ja pole siis ime, et naftatööstus (BigOil) ei ole huvitatud plastitootmise piiramisest.

PLAST ON KÕIKJAL

Tänapäeva maailma ilma plastita enam ette ei kujuta. See on muutunud asendamatuks kõikjal – alates elektroonikast ja lõpetades põllumajandusega. Plastibuum algas 20. sajandil ja plastitööstuse arengut kiirendas oluliselt Teine maailmasõda, sest vaja oli uusi tehnoloogiaid – riigikaitse pealt enamasti kokku ei hoita. Heaks näiteks on firma DuPont poolt 1930-ndatel leiutatud nailoni ulatuslik kasutamine langevarjude materjalina. Pärast Teist maailmasõda sai plastist progressi ja heaolu sümbol; tarbimiskultuur soosib endiselt plasti üha suuremat kasutust. Meie lastetoad on plasti täis, seda leiab rohkelt ka meie köökidest ja vannitubadest, terras-

sidelt ja panipaikadest. Plast on ka hea pakke-materjal: mitmekihilisi plastist karpe-karbikesi on täis kõik mänguasja- ja elektroonikapoed. Suur plast-pakendi kasutaja on toiduainetööstus. Hommikul tanklast läbi astudes näeme, kuidas kohvimasinad täistuuridel villivad kohvi ühekordsetesse topsidesse, et oleks mugav kaasa võtta.

PLASTIREOSTUSEST ON SAANUD ÜLEILMNE PROBLEEM

Igal aastal satub veekogudesse 19–23 miljonit tonni plastijäätmeid. Enamik (10–15 mln t) plastiprügist satub merre ja 2050. aastaks ennustatakse selle prügimassi kolmekordistumist. Alates 1950-ndatest on toodetud 10 miljardit tonni plasti, millest 80% on praeguseks jäätmed. Miks plastijäätmeid keskkonnas nii palju on? Juurpõhjuseks suurte tootmismahtude kõrval on plasti kui materjali püsivus – üks tema tehnoloogilistest võluomadustest. Pole siis ime, kui looduses viibides kohtame väiksemas või suuremas koguses plastiprügi – pakendeid, suitsukonisid, kilekotte. Omaani kõrbes söövad kaamelid piknikupidajatest turistide toidulõhnalisi kilekotte. Seedumatu plast tekitab loomadel petliku täiskõhutunde ja nad hakkavad vähem sööma või isegi surevad, sest plast ummistab nende seedekulgla. Loodusesse sattunud plastiprügi – olgu see meres või maismaal – killustub-mureneb keskkonnategurite toimel ja eraldab mikroplasti (osakesed alla 5 mm) ja nanoplasti (osakesed alla 1 µm). Eesti keeles võiks kasutada mõistet „pisiplast“. Plasti murenemisel on suur panus UV-kiirgusel. Olete ehk isegi märganud, et valguse käes seisnud plastkaaned on mõne aja pärast haprad või lausa katki. Osakestest toituvad veeorganismid – nt loomhõljumi esindaja vesikirp –

ei tee vahet, kas osake on söödav või ei, ning neelab alla ka plastiosakesed. Sarnaselt vesikirbuga jõuab pisiplast ka inimese organismi. On äärmiselt muretekitav, et pisiplasti on leitud inimese neeru-, maksa- ja ajukoest (Nihart *et al.*, 2025) ning platsentast (Ragusa *et al.* 2021). Plastiprügi vähendab meie ökosüsteemide võimet kohaneda kliimamuutustega, kahjustades inimeste elukeskkonda, toidubaasi ja sotsiaalset heaolu. Seega tuleb plastireostusest tulenevaid keskkonna-, sotsiaalseid, majanduslikke ja terviseriske hinnata koos muude keskkonnastressifaktoritega – kliimamuutused, ökosüsteemi seisundi halvenemine ja ressursside ammendumine.

NAFTA VÕI MAIS?

Naftapõhise plasti keskkonnasõbralikumaks alternatiiviks peavad mõned bioplasti, mida toodetakse taastuvatest ressurssidest ning enim reguleeritud kasutusega plasttooted – ühekordsed joogitopsid, noad-kahvlid – ongi järjest enam bioplasti-põhised. Kuigi bioplasti levinud müügiargument on biolagundatavus, siis üldjuhul tähendab see tööstuslikes tingimustes komposteeritavust, mis omakorda eeldab jäätmete ranget käitlemist ning kaasnevat ressursikulu. Bioplasti ei saa ümber töödelda ja taaskasutada. Loodusesse sattunud bioplast mureneb sarnaselt naftapõhise plastiga pisiplastiks. Liiatigi tuleb bioplasti tootmiseks esmalt kasvatada maisi või suhkruroogu, mis tähendab põllumaa vähendamist toidutootmise arvelt, väetisi ja taimekaitsevahendeid, märkimisväärset veekulu jne. Lisaks on nn biopolümeer vaid osa bioplastist ning lisaained, mida võib bioplastis olla rohkemgi kui tavaplastis, on täiendav argument, miks bioplast – vähemalt praegusel kujul – ei ole jätkusuutlik alternatiiv.

PLASTI LISAAINED – NÄHTAMATU OHT

Hiljutised uuringud näitavad, et plasti tootmise ja plasttoodetega seondub enam kui 13 000 (või isegi kuni 16 000) erinevat kemikaali – plasti lisaainet, mille hulgas on pehmedid (suurim lisaainete rühm),

leegiaeglustid, PFAS-id, UV-stabilisaatorid, bisfenoolid, alküülfenoolid, pigmendid, PAH-id jne. Plasti lisaainete hulgas on kemikaale, mis keskkonnas ei lagune, akumul eeruvad elusorganismides, mõjutavad hormoonide toimet, vähendavad viljakust, kahjustavad närvisüsteemi või põhjustavad vähki. Teadusuuringud on näidanud, et plasttoodetest valmistatud leotiste toksilisus oli seda suurem, mida suurem oli neis lisaainete osakaal (Zimmerman *et al.*, 2019). Rolli, mida lisaained mängivad plasti võimalikes soovimatutes mõjudes, on lühinägelik alahinnata. Eriti vastuvõtlikud kahjulikele lisaainetele on naised ja lapsed. Vaid ligikaudu 50% lisaainete kohta on olemas toksikoloogiline teadusteave. On teada, et umbes 25% uuritud lisaainetest võivad olla keskkonnale ja/või tervisele ohtlikud. Probleemseid lisaaineid on leitud eri kasutusega plastidest, sh mänguasjad, (toidu)pakendid, elektroonikaseadmed, sünteetilised tekstiilid, mööbel, ehitusmaterjalid, meditsiiniseadmed, hügieeni- ja majapidamistarbed (UNEP, 2023).

ÜHEKORDSE VALU JA VÖLU

Oluline tegur mistahes toote kestlikkuse hindamisel on eluiga. Ühekordsetel plasttoodetel võib see olla sekundites (nt vatipulgad, joogitopsid). Kuna need tooted moodustasid olulise osa keskkonnas leiduvast plastiprügist, oli see üks esimesi sektoreid, mille reguleerimisega (nt kilekottide tasuta jagamise lõpetamine) loodeti leevendada kasvavat plastireostuse probleemi. COVID-19 pandeemia andis ühekordsele plastile teise vaatenurga. Maailma Terviseorganisatsioon kuulutas uudse koroonaviiruse, COVID-19 pandeemiaks 11.03.2020. Kindlasti saadi selle pandeemia käigus ja eriti pärast seda paljudest asjadest paremini aru, sh et transpordi vähendamine muutis õhu oluliselt puhtamaks ja et koosolekuid saab pidada kohale lendamata. Lennusõit on väga suure keskkonnajalajäljega tegevus, mistõttu on arusaamatu, kui tuhanded inimesed lendavad teisele poole maakera, et kuulutada toetust CO₂ heite vähendamise

sele. Aga tagasi COVID-19 pandeemia juurde, mis pööras tagasi ka ühekordse plasti kasutuse põhimõtted kestliku arengu vaatevinklist. Kui enne pandeemiat oli ühekordse plasti keelustamine paljudes riikides päevakorral või isegi seadusesse jõudnud, siis COVID-19 saabudes prioriteedid muutusid. Prata *et al.* (2020) hinnangul kasutati 2020. aastal maailmas igakuiselt 129 miljardit ühekordset näomaski ja 65 miljardit ühekordset kindapaari. Plastist näomaski lagunemine looduses võtab hinnanguliselt 450 aastat!

ÜLEILMNE PROBLEEM NÕUAB ÜLEILMSET KIIRET TEGUTSEMIST

2019. aastal valmis Euroopa tippteadlaste raport (SAPEA, 2019) pisiplasti keskkonnaohtudest, milles nenditi, et teatud lokaalsetele riskidele vaatamata ei ole olemasoleva parima teadmise kohaselt pisiplastil laiaulatuslikku riski tervisele ja keskkonnale. Siiski oli 2022. aastaks teadlikkus plastireostuse mõjust sedavõrd paranenud, et tunti vajadust kõrgema taseme kokkulepeteks. ÜRO keskkonnaassamblee viies istungjärg Keenias Nairobis võttis vastu resolutsiooni 5/14 ja kutsus kokku valitsustevahelise läbirääkimiste komitee (INC) eesmärgiga jõuda üleilmsele kokkuleppele plastireostuse kriisi lahendamiseks. Kokkuleppele loodeti jõuda rekordiliselt lühikese ajaga, sisuliselt kahe aastaga, 2024. aasta lõpuks. Esimene istung peeti 2022. aastal Uruguais (INC-1). Viiendal istungil (INC-5) 2024. aastal Lõuna-Koreas Busanis, kus osales üle 3300 delegaadi 175 ÜRO liikmesriigist, loodeti kokkulepe lukku lüüa. Hoolimata ulatuslikest aruteludest ei suudetud konsensust saavutada; peamiselt töötasid sellele vastu naftatootjad riigid. 99% plastist tehakse fossiilsetest kütustest ja plastitootmise suurendamine on naftatootjate plaan B, mis võimaldaks tulusid säilitada ka rohepöörde tingimustes, kus seda ohustab näiteks elektriautode populaarsuse kasv. Liiatigi on naftast plasti tootmine suurema kasumi-marginaaliga kui kütuse tootmine. Busani läbirääki-

mised peatati ja istungit tähistati ICN-5 asemel tähistega ICN-5.1. Arutelud jätkuvad ja loodetavasti ka lõpevad konsensusliku plastileppega INC-5.2 istungil, mis toimus 05.–14.08.2025. aastal Šveitsis, ent lõplikule kokkuleppele ei jõutud sealgi. On märgiline, et INC-4 läbirääkimistel oli nafta- ja keemiatööstuse lobi suurem kui EL-i liikmesriikide esindajatel (196 *versus* 143) ja ICN-5.1 läbirääkimistel oli tööstuse esindajaid juba 220.

TEADLASTE ETTEPANEKUD PLASTIREOSTUSE PIDURDAMISEKS

ÜRO keskkonnaprogrammi poolt koordineeritav rahvusvaheline teadusnõukogu ISC (International Science Council) kutsus kokku peamiselt teadlastest koosneva plastilepet nõustava ekspertrühma – kokku 16 teadlast eri riikidest (sh Anne Kahru, üks antud peatüki autoritest). Nimetatud eksperdirühm on aastatel 2023–2025 aktiivselt jälginud plastileppega seotud arenguid, keskendudes just leppe teaduslikele aspektidele.

Üle kahe aasta kestnud arutelude tulemusena avaldas eksperdirühm 2025. aasta maikuus tippmainega teadusajakirjas *Nature Sustainability* artikli „Effective progress and implementation of the INC-5 plastics treaty through scientific guidance“ (Spring *et al.*, 2025), mis oli ka üheks sisendiks INC-5.2 läbirääkimistele. Artiklis visandati teaduspõhised prioriteedid plastileppe väljatöötamiseks, et kokkulepitud meetmed tõepoolest suudaksid plastireostust pidurdada ja leevendada reostuse mõju tervisele ja keskkonnale. Toome siinkohal lühidalt ära artiklis välja toodud olulisemad momendid:

- vähendada üleilmselt kindlaksmääratud ajaks esmaste plastpolümeeride tootmist kestlikule tasemele;
- koostada üleilmsed teaduspõhised kriteeriumid ja nimekirjad kahjulikest lisaainetest ja probleemsetest plasttoodetest koos nende kasutusest eemaldamise ajakavaga;

- soodustada teadlaste, poliitikute ja ühiskonnategelaste koostööd plastireostuse vähendamisel.

Üks INC-5.1 eesmärkidest oli veenda tööstust, et ainult ringluse edendamisega probleemi ei lahenda, vaid tuleb ka plasti tootmist vähendada, sest vastasel juhul ei tule käitlus sellega toime. Teaduslikud uuringud ja materjalivoogude modelleerimine näitavad selgelt, et esmasest toormest plasti tootmise piiramine kestlikule (pakutud on aastat 2020) tasemele kindlaksmääratud aja jooksul oleks oluline mõjur plastireostusele piiri panemisel. Kui üleilmne eesmärk on kokku lepitud, on võtmeküsimuseks, kuidas selleni jõuda. Liikmesriikide plasti tootmismahud, võrreldes jäätmekäitluse, ringlussevõtu ja korduskasutamise mahtudega, oleksid võtmenäitajad kestliku tootmistaseme määramisel. Seda täiendaksid tervise- ja saastenäitajad – plastijäätmete hulk ookeanis, prügilate mahud, plasti lisaainete ja pisiplasti kontsentratsioon looduskeskonnas ning sotsiaalmajanduslikud mõõdikud, mis kombineerituna võimaldavad hinnata edusamme ja meetmete tõhusust.

KEMIKAALIDE KESKKONNARISKI HINDAMINE

Ükskõik millise kemikaali või materjali (sh plasti) keskkonnariske hinnatakse laias laastus järgmiselt: kõigepealt tuleb võimalik oht teadvustada – nt on vastav tootmine piisavalt suures mahus käima läinud. Sellest üldjuhul piisab, sest kemikaal, mida toodetakse, satub varem või hiljem mingil kujul ka loodusesse (peamiselt jäätmevoogude kaudu). Nüüd on oluline välja selgitada, millises kontsentratsioonis on see kemikaal elusorganismidele ohtlik, ja teha kindlaks kemikaali kontsentratsioon ümbritsevas keskkonnas (vees, mullas). Ohtlikkust elusorganismidele hinnatakse laboratoorsete toksilisuse testidega. Keskkonnohtude hindamiseks tehakse enamasti teste vetikate, vesikirpude ja kaladega, kes on lihtsustatud veeökosüsteemi mudelorganismid. Mikro- ja eriti nanoplastiga seotud riskide hindamine on oluliselt keerulisem plasti mitmekesise keemilise koostise tõttu. Siiani pole ühtseid standardeid isegi

mikroplasti määramiseks, nanoplastist rääkimata. Tihti kasutatakse mudeldamist, kuid lähtuma peab siiski reaalistest seireandmetest. Keskkonnariski hindamise viimases etapis võrreldakse kemikaali sisaldust keskkonnas organismidele ohtliku kogusega. Selle alusel kujundatakse arvamus, kas antud aine (nt mikroplasti) puhul esineb arvestatav keskkonnarisk.

PLASTIUURINGUD KBFI KESKKONNATOKSIKOLOOGIA LABORIS

Otsing teaduskirjanduse andmebaasis Clarivate Web of Science otsisõnadega „*global AND plastic* AND pollution*“ väljal „Topic“ andis kokku 3672 artiklit (sh 266 palju viidatud artiklit), mis peegeldab plastireostuse probleemi aktuaalsust. Nagu näha 266 rohelt viidatud artikli pealkirjadest koostatatud sõnapilvest (joonis 1), on kõige aktuaalsem plastireostuse probleem seotud just mikroplastiga. Ka Eesti teadlased tegelevad nii pisiplasti kui plasti lisaainete keskkonnaseire ja mõjude hindamisega. KBFI keskkonnatoksikoloogia laboris on pisiplasti keskkonnohtusid uuritud peaaegu kümme aastat ja meie senised tulemused näitavad, et lühiajalisel kokkupuutel on pisiplast suhteliselt inertne ja keskkonnoorganismidele (bakterid, vetikad, vesikirbud, surusääsed, algloomad) ägedat mürgistust ei põhjusta (Heinlaan *et al.*, 2020; Khosrovyan and Kahru, 2020). Ühelt poolt on need tulemused julgustavad, ent reaalses olukorras on tegu pigem pikaajaliste kokkupuudetega ja üldjuhul mõjutab organisme mitu stressorit korraga (erinevad saasteained, liiga kõrge või liiga madal temperatuur, toitainete nappus). Paraku näitavadki pikaajalised katsed, et nii pisiplast (Heinlaan *et al.*, 2023) kui lisaained mõjutavad eelkõige järeltulevaid põlvkondi. On veel üks oluline aspekt: kuna plastiosakesel on suur eripind, saab see siduda ja edasi kanda teisi saasteaineid või ka ravimitele resistentseid ohtlikke baktereid, kui tuua vaid paar näidet. See omakorda võib organismidele (sh inimesele) kaasa tuua juba teistsuguseid ohtusid, mille väljaselgitamine on algusjärgus.

Khosrovyan, A. and Kahru, A. (2020) Evaluation of the hazard of irregularly-shaped co-polyamide microplastics on the freshwater non-biting midge *Chironomus riparius* through its life cycle. *Chemosphere* 244, 125487. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125487>

Nihart, A. J. *et al.* (2025) Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine* 31, 1114–1119. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

Prata, J. C. *et al.* 2020. COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. *Environmental Science & Technology* 54, 13, 7760–7765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02178>

Ragusa, A. *et al.* (2021) Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International* 146, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>

Spring, M. *et al.* (2025) Effective progress and implementation of the INC-5 plastics treaty through scientific guidance. *Nature Sustainability* 8, 728–730. <https://doi.org/10.1038/s41893-025-01574-0>

Zimmerman, L. *et al.* (2019) Benchmarking the *in Vitro* toxicity and chemical composition of plastic consumer products. *Environmental Science & Technology* 53, 19, 11467–11477. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions. (2023) Chemicals in plastics: a technical report. Geneva. <https://digitallibrary.un.org/record/4023718?v=pdf>. K lastatud 30.05.2025.

Wagner, M. *et al.* (2024) State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern. *Zenodo*. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10701706>