



Eismo mikroplastikai – sprendimai sušvelninti problemą

FanLESStic-sea projekto ataskaita

Erika Winqvist, Marjatta Vahvaselkä,
Matleena Vuola ir Panu Sainio

Vertimas į lietuvių kalbą: Šiaulių prekybos, pramonės ir amatų rūmai, vykdant BSR Interreg projektą Fan-
lesstic – sea, Viršelio nuotrauka: Marjatta Vahvaselkä

Autorių teisės: Suomijos gamtos išteklių institutas (Luke)

2021



Rekomenduojamas citavimas:

Winqvist, E., Vahvaselkä, M., Vuola, M. & Sainio, P. 2021. Eismo mikroplastikai – sprendimai sušvelninti problema : FanLESStic-sea projekto ataskaita. Lithuanian translation by Siauliai CCIC of the original publication Traffic microplastics – solutions to mitigate the problem : FanLESStic-sea project report. Natural resources and bioeconomy studies 56/2021. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 23 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-255-1>.

Santrauka

Erika Winqvist¹⁾, Marjatta Vahvaselkä¹⁾, Matleena Vuola²⁾ ir Panu Sainio³⁾

¹⁾Suomijos gamtos išteklių institutas (Luke), gamybos sistemos, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinkis, Suomija, erika.winqvist@luke.fi

²⁾Helcom, Baltijos jūros aplinkos apsaugos komisija, Katajanokanlaituri 6 B, 00160 Helsinkis, Suomija, matleena.vuola@helcom.fi

³⁾Aalto universitetas, inžinerijos mokykla, mechanikos inžinerijos katedra, pašto dėžutės numeris 14100, 00076 Aalto, Suomija, panu.sainio@aalto.fi

Pranešama, kad eismo mikroplastikai, t. y. padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelės, yra didžiausia į aplinką ir galiausiai į jūrą patenkančio mikroplastiko grupė. Todėl labai svarbu sumažinti eismo mikroplastiko kiekį, nes nedidelis santykinis sumažėjimas turi didelę reikšmę.

Pagrindinis ES „Tvaraus ir pažangaus judumo strategijos“ tikslas yra iki 2050 m. bent 90% sumažinti su transportu susijusias ŠESD emisijas, palyginti su 1990 m. Tačiau nepakanka mažinti tik anglies dioksido taršą, reikia atsižvelgti į kitus su eismu susijusius užteršimus, pvz., padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo daleles. Didėjant elektrinių transporto priemonių skaičiui, dar daugiau dėmesio reikėtų skirti sudilusioms padangoms. Elektromobiliai gali įsibėgėti greičiau nei daugelis tradicinių automobilių, todėl padangos greičiau sudyla. Be to, dėl baterijų svorio elektromobiliai paprastai yra sunkesni už automobilius, kurie varomi skystu kuru ar dujomis.

Efektyviausias būdas sumažinti padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelių kiekį aplinkoje yra prevenciniai metodai. Veiksniai, turintys įtakos šioms dalelėms, yra susiję su tinkamu padangų naudojimu, vairavimo įpročiais bei padangų ir kelio dangos savybėmis. Visa tai išsamiau aprašyta šioje ataskaitoje. Norint spręsti problemą, pirmiausia reikia rengti visuomenės informavimo kampanijas. Bet kai kurių patobulinimų įgyvendinimui gali prireikti ir vietos politikų pagalbos. Tačiau mes galime daug nuveikti ir be tolesnio techninio tobulinimo. Bet sėkmingam įgyvendinimui reikia visų suinteresuotųjų šalių: politikos formuotojų, pramonės, savivaldybių ir vartotojų įsipareigojimo.

Raktažodžiai: mikroplastikas, eismas, nusidėvėjusios padangų dalelės, prevencija

Turinys

1. Įvadas	3
2. Istorija	5
3. Prevenciniai metodai.....	10
4. Šalinimo būdai	14
5. Automobilių padangų perdirbimas	16
6. Išvados.....	17
Šaltiniai.....	19

1. Įvadas

Eismo mikroplastikas, t. y. padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelės, buvo pripažintas kaip pagrindinis mikroplastiko aplinkoje šaltinis Europoje ir Suomijoje (Sundt ir kiti, 2016, Hann ir kiti, 2018, Setälä ir Suikkanen, 2020). Eismo mikroplastiko dalelių daugiausia atsiranda iš padangų gumos, kelių žymeklių ir kartais iš polimerais modifikuoto bitumo, naudojamo asfalte. (Andersson-Sköld ir kiti, 2020). Tačiau grynų padangų mikroplastiko aplinkoje yra labai mažai ir dauguma jo atsiranda iš kelio (Grigoratos ir Martini, 2014). Eismo mikroplastikas gali patekti į vandens telkinius per lietaus vandenį ir orą. (Essel ir kiti, 2015, Sundt ir kiti, 2016, Kole ir kiti, 2017).

Kol kas yra mažai žinoma apie eismo mikroplastiką, todėl reikėtų daugiau dėmesio skirti temai, apimančiai eismo mikroplastiką, kelius, poveikį ir riziką. Labai svarbu ištirti mikroplastiko poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Nepaisant žinių stokos, į riziką reikėtų žiūrėti rimtai, remiantis šiais faktais: 1) teršalų kiekis, atsiradęs iš padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo, yra labai didelis, 2) išskiriamos dalelės greičiausiai išliks aplinkoje ir 3) dalelėse yra pavojingų medžiagų (Andersson-Sköld ir kiti, 2020).

Eismo išmetamo CO₂ kiekio mažinimas buvo kasdienė tema daugiau nei dešimtmetį, tačiau eismo mikroplastiko ir kitos rūšies cheminė tarša, sulaukė daug mažiau dėmesio. Hibridiniai ir gryniesi elektromobiliai tampa vis populiareni siekiant sumažinti automobilių išmetamą CO₂. Kadangi elektromobiliai yra sunkesni už įprastus automobilius, tai reiškia, kad į aplinką bus išmetama daug daugiau mikroplastiko.

Yra keletas žinomų būdų, kaip sumažinti eismo mikroplastiko išmetimą. Kaip nurodyta norvegų atliktoje ataskaitoje apie mikroplastiko taršą ir mažinimo galimybes, paprasčiausias būdas - mažinti eismą (Sundt ir kiti, 2016). Tačiau eismo mažinimas greičiausiai veiktų tik vietos lygiu, o nacionaliniu lygmeniu poveikis būtų palyginti nedidelis (Sundt ir kiti, 2016). Be to, tikimasi, kad kelių eismas nemažės, o tik didės. Skaičiavimai rodo, kad Europos Sąjungoje keleivinis transportas iki 2050 m. padidės 42%, o krovininis - 60% (Europos Komisija, 2019). Kiti galimi būdai, kaip sumažinti eismo mikroplastiko išmetamųjų teršalų kiekį, yra patvaresnės padangos, kitokie vairavimo įpročiai (ekologiškas vairavimas), kelio dangos keitimas (kad padangos mažiau nusidėvėtų, bet ir nekiltų grėsmė vairuotojų saugumui), geresnės kanalizacijos sistemos ir kelių valymas.

FanPLESStic-sea – „Iniciatyvos, siekiančios pašalinti mikroplastiko patekimą į jūrą“ (2019 m. sausio mėn. – 2021 m. gruodžio mėn.) yra ES INTERREG finansuojamas Baltijos jūros regiono projektas, kurio tikslas yra mažinti ir pašalinti mikroplastiką iš Baltijos jūros. Projekto metu bus:

- Sukurtas modelis, kuris padės žymėti, suprasti ir pavaizduoti mikroplastiko kelią į jūrą, ir bus taikomas partnerių miestuose ir/ar regionuose;
- Atlikti naujų technologijų pilotiniai bandymai: mikroplastiko filtravimas; tvaraus drenažo sprendimai, siekiant pašalinti mikroplastiką; mikroplastiko šalinimas iš lietaus vandens;
- Apibrėžta nauja valdymo struktūra ir įtraukiama kuo daugiau žmonių į koordinuotų ir ekonomiškai efektyvių priemonių įgyvendinimą. Tokiu būdu kiekvienam projekto

- partneriui bus pateikiami vietiniai investiciniai siūlymai ar planai; ir
- Viešinami projekto rezultatai, įskaitant ataskaitas apie kliūtis ir tolimesnes galimybes, siekiant padidinti institucijų pajėgumą naudoti naujus ir į problemą orientuotus mikroplastiko šalinimo metodus.

Šioje ataskaitoje pagrindinis dėmesys skiriamas 3.1 veiklos sričiai „Moderniausios mikroplastiko pašalinimo technologijos“, kurią vykdo Suomijos gamtos išteklių institutas (Luke) ir kurios tikslas - nustatyti ir patvirtinti moderniausių mikroplastiko pašalinimo technologiją ir ieškoti naujų problemos sprendimų.

Šios ataskaitos tikslas - pateikti trumpą eismo mikroplastiko apžvalgą, pabrėžti temos svarbą ir pasiūlyti keletą problemos sprendimo būdų bei rekomendacijų tolesniam skaitymui. Daugiausia dėmesio skiriama padangų mikroplastikui, nes jis buvo nustatytas kaip pagrindinis antrinio mikroplastiko šaltinis (HELCOM, 2019). Taip pat prevenciniams metodams, nes jie yra pripažinti kaip veiksmingiausi metodai, kurie padeda užkirsti kelią eismo mikroplastikui (Sundt ir kiti, 2016).

Sąvoka *eismo mikroplastikas* yra naudojama kaip bendras terminas, apibūdinantis visus su keliais susijusius mikroplastikus (sudilusių padangų daleles, kelių žymeklius ir polimerais modifikuotą bitumą), o *sudilusių padangų dalelės* apibūdina būtent tuos mikroplastikus, kuriuos išmeta automobiliai.

2. Istorija

2.1. Šaltiniai ir plitimas

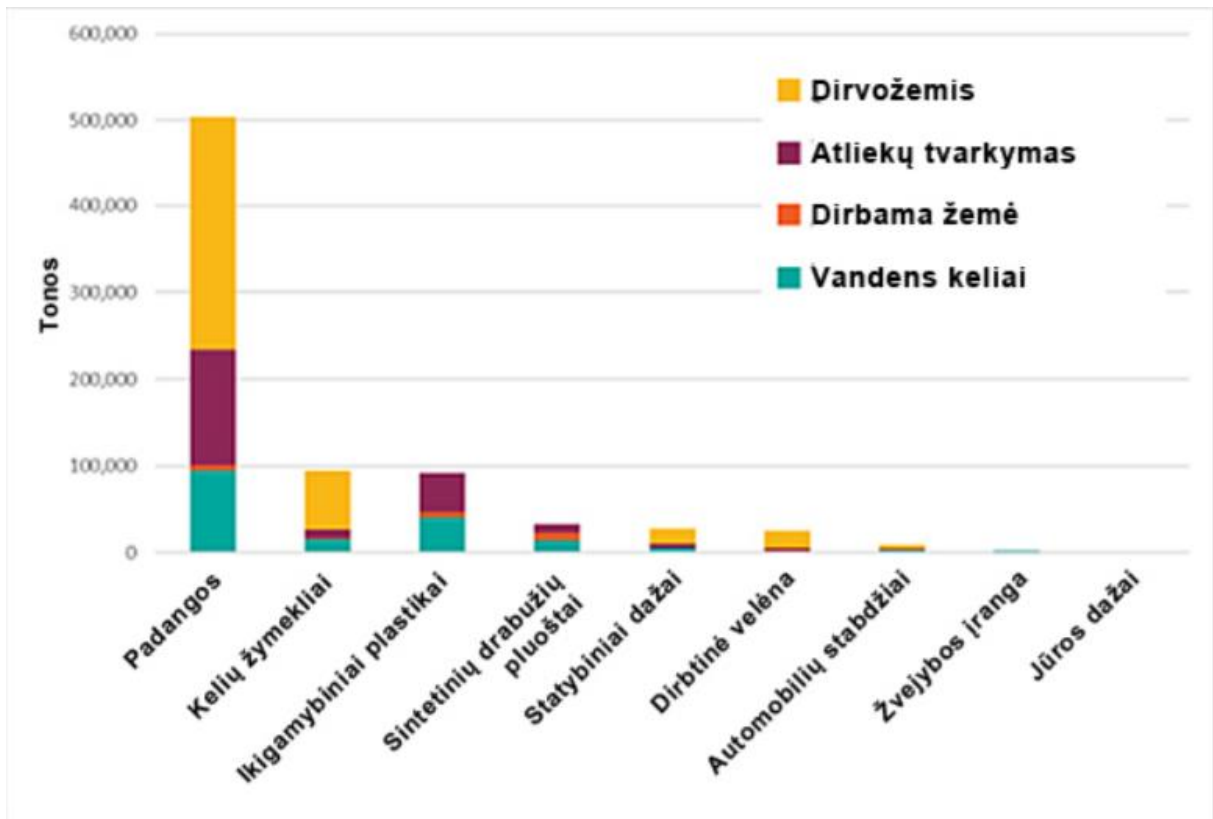
Mikroplastikas – polimero dalelės, mažesnės nei 5 mm – yra skirstomas į dvi grupes: pirminis ir antrinis. Pirminiai mikroplastikai yra specialiai pagaminti mikroskopinio dydžio, kad atliktų tam tikrą funkciją. Antriniai mikroplastikai atsiranda yrant didesniems plastiko gaminiams (GESAMP, 2016). Remiantis Danijos vertinimu (Lassen ir kiti, 2015), iš pirminių mikroplastiko šaltinių išmetami teršalai sudaro 11% visų Danijoje išmetamų teršalų kiekį, iš antrinių šaltinių – 89%. Apskaičiuota, kad į vandenį patenka tik 1% dalelių iš pirminių mikroplastiko šaltinių, o iš antrinių šaltinių – 99% (Lassen ir kiti, 2015). Padangos išskiria 56% (4 200 – 6 600 tonas per metus ir 0,7 – 1,16 kg/vienam gyventojui per metus) iš visų pirminių ir antrinių šaltinių teršalų, gumos granulės – 10,5%, tekstilė – 6,2%, avalynė, dažai ir kita – maždaug po 5–6%, kelių žymekliai – 4,1%, statybinės medžiagos iš plastiko – 2,9% ir laivų dažai – 2,4% (Lassen ir kiti, 2015, Sundt ir kiti, 2016). Norvegija (Sundt ir kiti, 2014) ir Vokietija (Essel ir kiti, 2015), vertindamos mikroplastiko šaltinius, pateikė panašius įvertinimus dėl padangų mikroplastikų. Tačiau daugelyje tyrimų yra gaunami skirtingi rezultatai, procentų diapazonas yra didelis, todėl sunku padaryti konkrečias išvadas apie mikroplastiko šaltinius (HELCOM, 2019).

Verta pabrėžti, kad automobilių padangų ir kelių mikroplastiko taršos skaičiai yra pateikti lyginant įvairius mikroplastiko šaltinius ir pagrįsti skirtingais įvertinimais ir modeliais, o ne faktiniais analitiniais duomenimis. Tik nedaugelis tyrimų padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo daleles kiekybiškai įvertino aplinkos mėginiuose, pvz., nuotekose nuo kelių (Eisentraut ir kiti, 2018).

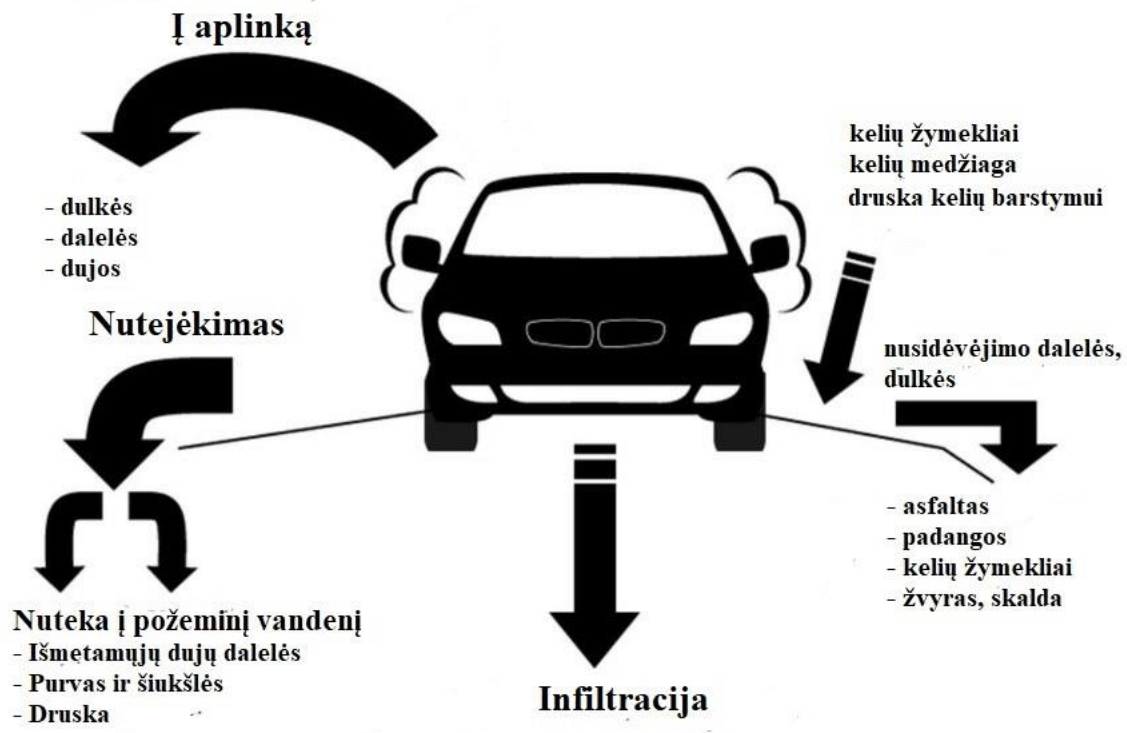
Šiuo metu nėra standartizuotų metodų, skirtų padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelių paruošimui ir analizei. Pastarajai naudojami metodai apima mikroskopiją, mikrospektroskopiją (pvz., Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopija) ir dujų chromatografijos-masių spektrometriją (pvz., pirolizės GC/MS). Šių metodų taikymas užima daug laiko ir brangiai kainuoja.

Nepaisant neaiškumo dėl skirtingų įvertinimų, galima daryti išvadą, kad padangos yra didžiausias mikroplastiko šaltinis. Tai patvirtina ir antroji Europos Komisijos ataskaita apie mikroplastikus, kurioje padangos yra įvardijamos kaip pagrindinis nesąmoningai pridėtų mikroplastikų šaltinis ES, 2018 m. (Eunomia & ICF, 2018) (1 pav.).

ES tyrimas dėl mikroplastiko plitimo būdų parodė, kad vienas iš pagrindinių eismo mikroplastiko plitimo kelių yra dirvožemis. Mikroplastikai į jį patenka po to, kai yra nuplaunami nuo kelių. Laikui bėgant dalelės gali patekti į vandens telkinius. Taip pat mikroplastikas plinta valant kelius ir per skirtingas lietaus vandens sistemas, kurios įeina į atliekų tvarkymą. Atliekų tvarkymo metodų efektyvumas labai priklauso nuo to, ar jie tinkamai naudojami.



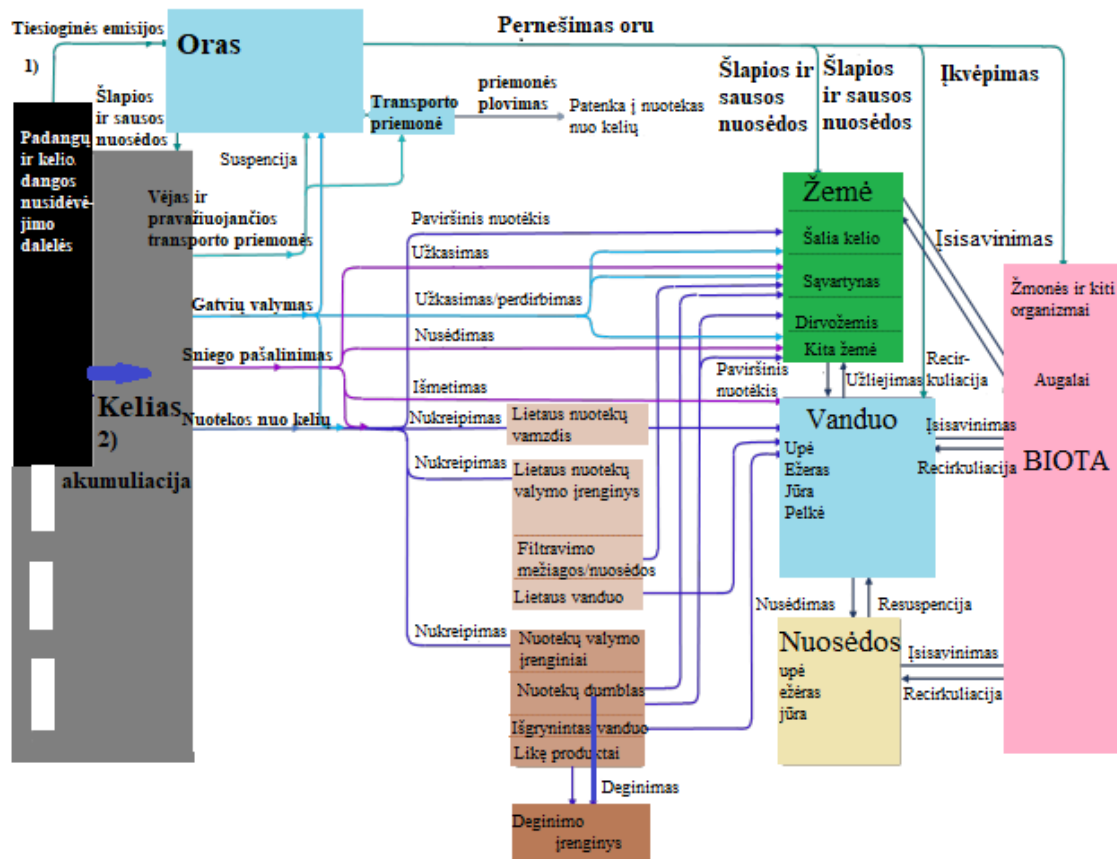
1 pav. Nesąmoningai pridėto mikroplastiko šaltiniai ES (Eunomia & ICF 2018).



2 pav. Eismo teršalų šaltiniai (Vogelsang 2020, paimta iš: www.roadex.com).

Eismo ir kelių mikroplastikas atsiranda iš trijų pagrindinių šaltinių: padangų protektoriaus, kelio žymeklių (dažų) ir polimerais modifikuoto bitumo (rišiklio) asfalte (Andersson-Sköldt ir kiti, 2020) (2 pav.). Padangos protektorius yra guminė padangos dalis. Polimerais modifikuotas bitumas yra naudojamas kaip rišamoji medžiaga keliuose. Su šia medžiaga kelias tampa stipresnis, stabilesnis ir išlaiko geresnį sukibimą žiemą (Jorgensen ir kiti, 2016, Vogelsang ir kiti, 2020). Kalbant apie kelio žymeklius tai gali būti dažai ir produktai tokie kaip termoplastinės sistemos, dažai vandens/tirpiklio pagrindu, 2-jų komponentų sistema ir kelio ženklinimo juosta. Į šiuos produktus gali įeiti plastikiniai polimerai, pigmentai, užpildai ir priedai (Andersson-Sköldt ir kiti, 2020).

Yra pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos tam, kaip ir kur padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelės plinta. Jie priklauso nuo dalelių dydžio, formos, tankio bei kritulių ir sklaidos (Andersson-Sköldt ir kiti, 2020). Eismo mikroplastikas gali patekti į vandenį ar sausumą įvairiais būdais. Galimus padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelių sklaidos kelius ir transportavimo procesus galima pamatyti 3 paveiksle.



3 pav. Galimi padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelių sklaidos keliai ir transportavimo procesai (Delilah Lithner, VTI in Andersson-Sköldt ir kiti, 2020).

3 paveiksle galima pastebėti, kad padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelės susidaro, kai padanga liečiasi su keliu, o po to dalelės išskiriamos tiesiai į orą arba ant kelio. Tada dalelės gali plisti į skirtingas aplinkos dalis. Tai priklauso nuo oro sąlygų, dalelių dydžio ir masės. Dalelės, išskirtos į orą, nusėda ant kelio arba plinta toliau įvairiais atstumais per vandenį ir orą. Tos dalelės, kurias išmeta kelias, gali ten ir likti arba plisti skirtingais sklaidos keliais, tokiais kaip:

vėjas, pravažiuojančios transporto priemonės, gatvių ar sniego valymas ar nuotekos nuo kelių. Nuotekos nuo kelių gali patekti tiesiai į žemę arba į vandens telkinius per lietaus nuotekų sistemas arba per nuotekų valymo įrenginius (Andersson-Sköld ir kiti, 2020).

Reikėtų pažymėti, kad yra mažai žinoma apie tai, kokios eismo mikroplastiko proporcijos patenka į skirtingas vietas: vandens aplinką, dirvožemį, nuotekų valymo įrenginius ir lietaus vandens sistemas. Taip pat trūksta informacijos apie tai kiek eismo mikroplastiko yra išskiriama tiesiai į orą ir kiek jo plinta per vandenį. Informacijos trūkumas apsunkina švelninimo priemonių kūrimą ir planavimą (Setälä ir Suikkanen, 2020).

Kol kas nėra tiesioginės ES politikos priemonės, skirtos eismo mikroplastiko problemai spręsti. 2019 m., Europos Komisijos prašymu, Europos cheminių medžiagų agentūra (ECHA) pasiūlė apriboti sąmoningai pridedamų mikroplastikų įtraukimo į produktus kiekį ES lygmeniu. Šis apribojimas bus patvirtintas 2021 arba 2022 m., jei tam pritaro Europos Komisija ir ES valstybės narės (ECHA, 2021). Tačiau šis apribojimas taikomas tik pirminiems mikroplastikams, o ES planavo apimti tiek pirminius, tiek antrinius mikroplastiko šaltinius. Todėl ES rengia viešąsias konsultacijas dėl priemonių, skirtų sumažinti mikroplastiko taršą, atsirandančią iš antrinių šaltinių (įskaitant automobilių padangas). Pagrindinis dėmesys skiriamas šių plastikų šaltinių ženklinimui, standartizavimui, sertifikavimui ir reguliavimo priemonėms. Viešosios konsultacijos planuojamos 2021 m. trečiame ketvirtyje (Europos Komisija, 2021). Be to, ES lygmeniu nėra jokių taisyklių minimaliam padangų nusidėvėjimo lygiui (Hann ir kiti, 2018). Šiuo metu atsižvelgiama tik į degalų naudojimo efektyvumą, sukibimą su šlapia kelio danga ir išorinį triukšmą.

2.2. Padangos sudėtis

Padangas sudaro išorinis guminis sluoksnis (protektorius ir šoninės sienelės), keli vidiniai sluoksniai iš įvairių rūšių tekstilės ir plieno bei vidinis gumos sluoksnis (4 pav.). Padangų protektorius yra guminė padangos dalis, užtikrinanti sukibimą su keliu. Būtent šioje dalyje važiavimo metu susidaro mikroplastikai (t. y. gumos dalelės).

Transporto priemonių padangose galima rasti įvairių cheminių medžiagų, priklausomai nuo reikalaujamų eksploatacinių savybių standartų ir gamybos įmonės. „Continental“ padangų įmonėje populiariausios vasarinės padangos yra gaminamos iš:

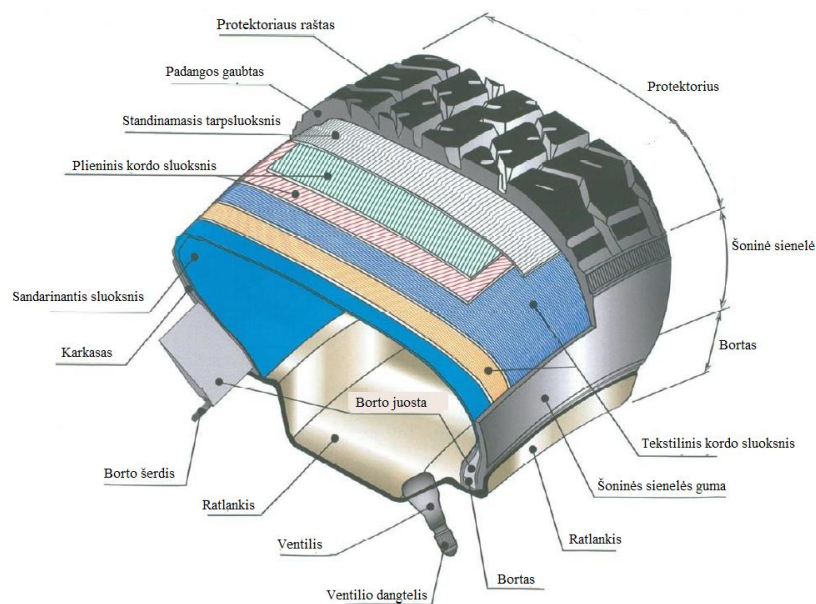
- Gumos (natūrali ir sintetinė) 41%
- Užpildo (juodos spalvos anglis, silicio dioksidas, anglis, kreida ir kt.) 30%
- Stiprinančių medžiagų (plienas, poliesteris, viskozė, nailonas) 15%
- Plastifikatorių (aliejai ir dervos) 6%
- Cheminių medžiagų vulkanizavimui (siera, cinko oksidas ir kt.) 6%
- Senėjimą stabdančių priemonių ir kitų chemikalų 2%

Padangų gamyboje yra naudojamas natūralios ir sintetinės gumos mišinys. Į gumos mišinį pridedama anglies kaip užpildo, kad padanga būtų kietesnė, atsparesnė nusidėvėjimui ir UV spinduliams. Juodą anglį galima pakeisti silicio dioksidu ar kitomis medžiagomis. Silicio dioksidas sumažina pasipriešinimą riedėjimui, tačiau nesudaro tokio gero sukibimo su guma

kaip juoda anglis. Plastifikatoriai naudojami kaip minkštikliai, siekiant užtikrinti elastingumą ir pagerinti sukibimą su šlapia danga. Dažniausiai naudojami plastifikatoriai yra sintetiniai organiniai aliejai ir dervos. Vulkanizavimo priemonės, tokios kaip sieras, pagerina padangos gumos elastingumą ir ilgaamžiškumą. Cinko oksidas yra katalizatorius vulkanizacijos procese (Kole ir kiti, 2017).

Be gumos dalelių, padangų mikroplastikuose yra daug kitų pavojingų junginių, tokių kaip cinkas, silicis ir sieras (Vogelsang ir kiti, 2020). Padangų medžiagoje yra apie 1% cinko, kuris yra arba kaip neorganinis cinkas (ZnO ir ZnS) arba organinis junginys. Cinko yra visų dydžių dalelėse, tačiau silicio daugiausia yra ore esančiose dalelėse (Grigoratos ir Martini, 2014). Padangų nusidėvėjimo dalelėse taip pat yra policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA). Tačiau ši medžiaga sudaro tik apytiksliai 5% viso kelių PAA padangų nusidėvėjimo dalelių kiekio. Pagrindiniai PAA šaltiniai yra asfaltas, automobilių išmetamųjų dujų ir kuro degimo produktai (Grigoratos ir Martini, 2014).

Apskaičiuota, kad vidutinė keleivinių transporto priemonių padanga prieš nusidėvėjimą įveikia 40 000 – 50 000 km, o į aplinką išsiskiria maždaug 10 – 30% gumos dalelių (Grigoratos ir Martini, 2014). Tai priklauso nuo padangų dydžio, kuris bėgant metams tik didėja. Sunkiasvorių transporto priemonių padangos tarnauja ilgiau, tačiau, jos išskiria maždaug dešimt kartų didesnę padangų nusidėvėjimo dalelių kiekį, palyginti su lengvosiomis transporto priemonėmis ir lengvaisiais automobiliais (Grigoratos ir Martini, 2014).



4 pav. Padangos struktūra (Evans and Evans 2006).

3. Prevenciniai metodai

Veiksmingiausi būdai sumažinti padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo dalelių kiekį aplinkoje yra prevenciniai metodai (Sundt ir kiti, 2016). Veiksniai, turintys įtakos padangų ir kelio dangos nusidėvėjimui, yra susiję su tinkamu padangų naudojimu, vairavimo įpročiais, padangų ir kelio dangos savybėmis (1 lentelė).

3.1. Tinkamas padangų naudojimas

Pirmiausia reikia patikrinti optimalų padangų slėgį ir transporto priemonei tinkamų padangų tipą, kuriuos galima rasti automobilio vadove. Optimalus padangų slėgis kinta priklausomai nuo apkrovos. Rekomenduojama patikrinti slėgį padangose kas tris savaites ir visada prieš važiuojant su didele apkrova (Nokian Renkaat, 2021). Jei padangų slėgis yra per mažas, atsiranda vidinė šiluma, o tai padidina nusidėvėjimo riziką (Li ir kiti, 2011). Kita vertus, esant per dideliame slėgiui, padangos protektorius nusidėvi netolygiai. Padangų slėgio, padangos apkrovos, važiavimo greičio ir padangų matmenų ryšys su padangų nusidėvėjimu taip pat parodytas tyrime, kurį atliko Chen ir Prathaban (2013). Didesnė apkrova ir greitis padidina nusidėvėjimą, o didesnis oro slėgis, skersmuo ir padangos protektoriaus plotis sumažina nusidėvėjimą.

Be padangų slėgio, pavyzdžiui, kartą per metus reikėtų tikrinti padangų vairavimo kampus, t. y. ratų suvedimą (Firestone, 2019). Tai turėtų būti padaryta bent vizualiai, atsižvelgiant į padangų nusidėvėjimą apžiūros metu. Paprastai ratų suvedimo pasikeitimo priežastis yra ta, kad automobiliu buvo užvažiuota ant bordiūro ar įvažiuota į duobę. Jei ratų padangos netinkamai sulygiuotos, transporto priemonė linkusi traukti į kairę arba į dešinę pusę. Tačiau vairuotojas gali nepastebėti gedimo. Tinkamas ratų suvedimas ne tik pailgina padangų tarnavimo laiką, bet ir pagerina degalų naudojimo efektyvumą ir transporto priemonės saugumą.

3.2. Vairavimo įpročiai

Vairuotojai gali paveikti padangų nusidėvėjimą savo vairavimo įpročiais. Didelis greitis, aštrus manevravimas, stiprus akseleravimas ir stabdymas padidina padangų nusidėvėjimą. Be to, vairuotojo elgesio poveikis mikroplastiko kūrimui yra eksponentinis, pvz., padangų nusidėvėjimas priklauso nuo transporto priemonės greičio (Pohrt, 2019). Todėl greičio apribojimas gali būti veiksminga priemonė padangų nusidėvėjimui mažinti ir mokyti vairuotojus geriau suprasti savo vairavimo įpročių pasekmes. Gerą vairuotojo elgesio svarbos pavyzdį rodo įmonė „Scania Group“, kuri į transporto priemones įmontuoja stebėjimo įtaisus. Apskritai 10 – 30 % degalų sąnaudų svyravimų galima priskirti su vairuotojais susijusiems veiksniams (CGI, 2014). Sundt ir kiti (2016) apskaičiavo, kad išvengiant nereikalingo šiurkštaus vairavimo būtų galimybė padangų nusidėvėjimo dalelių susidarymą sumažinti 10%. Renginyje „DEEP Microplastic Challenge 2019“, kuris buvo organizuojamas vykdant projektą FanpLESStic-sea (<https://thinkcompany.fi/portfolio/microplastic>), buvo pasiūlyta sukurti padangų nusidėvėjimo matuoklį „Ecometer“. Idėja buvo sujungti padangų nusidėvėjimą su kitais su vairavimu susijusiais veiksniais panašiai kaip kuro sąnaudų matuoklyje.

Taip pat reikėtų daugiau dėmesio skirti vairavimo įpročiams, nes keliuose daugėja elektrinių transporto priemonių. Elektromobiliai gali įsibėgėti greičiau nei daugelis tradicinių automobilių, todėl dėl šios savybės gali padidėti padangų nusidėvėjimas. Dėl baterijų svorio elektromobiliai paprastai yra sunkesni už automobilius, kurie varomi skystu kuru ar dujomis (Andersson-Sköld ir kiti, 2020). Manoma, kad didesnis automobilio svoris paskatina padangas nusidėvėti labiau.

3.3. Padangos charakteristika

Protektoriaus cheminė sudėtis ir raštas yra padangų savybės, kurios turi įtakos padangų nusidėvėjimui. Šiuo metu į ES padangų etiketę yra įtraukti trys elementai: degalų naudojimo efektyvumas, sukibimas su šlapia kelio danga ir išorinis triukšmas (Viegand Maagøe, 2016). Tikslas yra, kad įmonės gamintų, o klientai vartotų ekonomiškesnes, saugesnes bei tylesnes padangas. Tačiau nėra ES reglamento dėl minimalaus padangų nusidėvėjimo lygio (Hann ir kiti, 2018).

Nepaisant to, yra gamyklų, kurios nustatė eismo mikroplastiko, susidariusio dėl padangų nusidėvėjimo, problemą. Suomijos bendrovė „Nokian padangos“ sukūrė naują ekologiškesnį produktą „Nokian Hakka Green 3“, kuris rinkoje pasirodė 2020 m. (Nokian Renkaat, 2021). Naujas ekologiškas dizainas sujungia mažą pasipriešinimą riedėjimui, sumažėjusį padangų nusidėvėjimą ir degalų sąnaudas. Bandomieji važiavimai Šiaurės šalyse ir Rusijoje rodo 35% mažesnį padangų nusidėvėjimą, palyginti su ankstesniu atitinkamu Nokia modeliu (Tuulilasi, 2020). Kuriant gaminį daugiausia dėmesio buvo skiriama medžiagų tvarumui aplinkoje, nes padangų protektoriaus gumos mišinys naudojama 100% biologiškai pagrįsta derva.

Kadangi šiaurietiškosiose šalyse keičiasi sezonai, padangų charakteristikos taip pat skiriasi priklausomai nuo žieminių ir vasarinių padangų. Žieminės padangos yra pagamintos iš minkštesnio gumos mišinio nei vasarinės, kad esant žemai temperatūrai jos būtų pakankamai minkštos. Vasarinės padangos pagamintos iš kietesnio mišinio, kad aukštesnėje temperatūroje jos netaptų per minkštos (Andersson-Sköld ir kiti, 2020). Todėl svarbu pasirinkti tinkamas padangas pagal oro sąlygas. Pavyzdžiui, pagal galiojančius Suomijos teisės aktus žieminės padangos turi būti naudojamos nuo lapkričio pradžios iki kovo pabaigos, priklausomai nuo oro sąlygų. Verta pabrėžti, kad žieminės padangos, įskaitant nedygliuotas, neturėtų būti naudojamos vasarą, nes jų eksploatacinės savybės nėra skirtos aukštai temperatūrai, o vasarą jų nusidėvėjimas gali būti labai didelis.

Nustatyta, kad važiuojant su dygliuotomis padangomis ant kelio paviršiaus susidaro daug mikroplastiko (Grigoratos ir Martini, 2014). Važiuojant snieguotu ar slidžiu keliu, didžiausią įtaką sukibimui turi padangos protektoriaus raštas ir tam tikros gumos trinties savybės. Nedygliuotos žieminės padangos taip pat kartais vadinamos frikcinėmis padangomis. Jų sukibimo savybės labiausiai atsiskleidžia snieguotuose keliuose. Esant ledui, dygliuotos padangos užtikrina geresnį sukibimą ir geriausią trauką. Taigi dauguma vairuotojų (daugiau nei 80%) Suomijoje renkasi dygliuotas padangas. Tačiau Pietų Suomijos pakrantėje žiemos yra šiltesnės, ir keliai yra gerai prižiūrimi, nuvalant sniegą ir pabarstant chemikalų (vadinamosios druskos). Dėl to

Pietų Suomija vietiniam keliavimui galėtų naudoti nedygliuotas žieminės padangas. 2020 m. spalio mėn. Helsinkyje buvo pradėta nedygliuotų žieminių padangų kampanija, kurios tikslas per ateinančius dešimt metų padidinti nedygliuotų žieminių padangų naudojimą nuo 30% iki 70% (City of Helsinki, 2020).

Dygliuotos padangos gamina mikroplastikus dėl kelių nusidėvėjimo, tiksliau, kelio žymeklių ir polimeru modifikuoto bitumo, naudojamo asfalte (Andersson-Sköld ir kiti, 2020). Jei padangų protektoriaus raštas būtų smulkesnis, būtų galima naudoti mažesnius akmenis ant kelio paviršiaus. Lygesnė kelio danga su mažiau pažeidimų sumažintų padangų nusidėvėjimą.

1 lentelė. Padangų nusidėvimui įtakos turinčių veiksnių pavyzdžiai.

Veiksny		Geroji praktika	Kaip įgyvendinti
Tinkamas padangų naudojimas:	padangos slėgis	reguliarus tikrinimas, taip pat skiriasi priklausomai nuo apkrovos	vairuotojų švietimas
	ratų suvedimas	reguliari kasmetinė patikra, kartais, jei reikia, dažniau	vairuotojų švietimas, privalomi kasmetiniai patikrinimai
Vairavimo įpročiai:	aštrus manevravimas, stiprus akceleravimas ir stabdymas	tolygus vairavimas, padangų nusidėvimą galima palyginti su degalų sąnaudomis	vairuotojų švietimas, degalų sąnaudų/padangų nusidėvimu matuoklis
Padangos charakteristika:	vasarinės padangos, nedygliuotos žieminės padangos, dygliuotos padangos	tinkamas padangų pasirinkimas atsižvelgiant į oro sąlygas ir vairavimo poreikius	vietinės padangų pasirinkimo gairės, visuomenės informavimo kampanijos
	padangos savybės, ekologiškos padangos	produkto kūrimas: cheminė padangos protektoriaus sudėtis ir raštas	ES reglamentas dėl padangų nusidėvimu, subsidijos ekologiškoms padangoms (analogiškai su subsidijomis elektromobiliams)

4. Šalinimo būdai

Šioje ataskaitoje daugiausia dėmesio skiriama prevenciniams metodams, susijusiems su eismo mikroplastikų gamyba. Šiame skyriuje trumpai apžvelgiamos priemonės, skirtos sumažinti jau išmestų mikroplastiko dalelių pasiskirstymą iš automobilių padangų. Vienas iš esamų metodų, skirtas šalinti mikroplastiką, esantį nuotekose nuo kelių, yra nusėdimas. Tai ypatingai taikoma didesnį tankį turinčioms dalelėms. Taip pat naudingi metodai, ypač smulkesnėms dalelėms yra filtravimas ir adsorbicija (Vogelsang ir kiti, 2020, Andersson-Sköld ir kiti, 2020).

4.1. Lietaus vandens valymo sprendimai

Miesto ir greitkelių lietaus nuotekos yra pagrindiniai sausumoje esančių kietųjų dalelių, įskaitant mikroplastikus ir kitas eismo daleles, keliai į požeminio vandens telkinius. Tradiciškai lietaus nuotekų sistema miesto vietovėse veikia šitaip: lietaus vanduo be jokio apdorojimo per požeminį lietaus nuotekų tinklą suteka į artimiausią vandens telkinį. Į esamas lietaus nuotekų valymo technologijas įeina paviršinių nuotekų sulaikymo ir išlaikymo tvenkiniai, infiltraciniai baseinai, pelkės ir įvairios filtravimo sistemos (Liu ir kiti, 2019, Pankko-nen, 2020, Andersson-Sköld ir kiti, 2020, Vogelsang ir kiti, 2020).

Lietaus nuotekų valymo metodai miesto vietovėse yra sunkiai įvykdomi dėl ribotos vietos valymo įrenginiams. Todėl reikia kompaktiškų priemonių (Vogelsang ir kiti, 2020). Atskiroms kanalizacijų sistemoms reikia pakelės griovių ir kitų įvairių gamtinių išteklių (Vogelsang ir kiti, 2020).

Gamta pagrįsti sprendimai, vadinamosios tvarios drenažo sistemos miesto vietovėse, apima infiltracinius tunelius (Vogelsang ir kiti, 2020). Mūsų žiniomis, trūksta duomenų apie šių lietaus nuotekų valymo metodų efektyvumą pašalinant su padangomis susijusias mikroplastiko daleles.

Miestuose, kuriuose yra kombinuota kanalizacijos sistema, lietaus nuotekos patenka į vietinius nuotekų valymo įrenginius. Pastaraisiais metais buvo atlikti keli tyrimai apie mikroplastiko dalelių likimą nuotekų valymo proceso metu. Apskritai iki 99% intake esančių mikroplastikų pašalinama jau pirminio ir antrinio apdorojimo procesų metu (Simon ir kiti, 2018, Sun ir kiti, 2019). Tačiau kol kas nėra jokių duomenų apie nuotekų valymo įrenginių efektyvumą, susijusį su kelių eismo mikroplastikų šalinimu (Vogelsang ir kiti, 2020).

Pagrindiniai nuotekų nuo greitkelių valymo sprendimai apima gamtoje esančius nusėdimos tvenkinius ir techninius valymo įrenginius. Taip pat gali būti naudojami pažangesni valymo metodai, tokie kaip filtravimas, sorbcija ir biologinis skaidymas (Vogelsang ir kiti, 2020).

4.2. Miesto dulkių ir sniego valymas

Gatvių valymas naudojamas siekiant sumažinti dulkių ir teršalų kiekį miesto ore. Įrodyta, kad šluojant gatves yra išvaloma daug padangų ir bitumo mikroplastinių dalelių. Jei kas savaitę

būtų šluojamos gatvės, tuomet būtų sumažintas mikroplastiko transportavimas per vandenį į aplinką (Järnskog ir kiti, 2020).

Ypač Šiaurės šalyse kelių eismo dalelės žiemą gali kauptis iš gatvių nuvalytame sniege. Po gatvių valymo miesto sniegas nuvežamas į sniego surinkimo vietas, iš kur jis gali patekti į vandens telkinius arba būti tiesiogiai išmestas į jūrą (Sund ir kiti, 2016, Andersson-Sköld ir kiti, 2020). „Clewat Ltd“ įmonė iš Suomijos šiuo metu išbando naują sniego tirpinimo ir filtravimo technologiją (Clewat, 2021). Tačiau, mūsų žiniomis, dar nėra jokių rezultatų apie mikroplastiko kiekį sniege.

5. Automobilių padangų perdirbimas

Kasmet visame pasaulyje išmetama apie 1 milijardas padangų (International Mining, 2021). Padangų šalinimas ES reglamentuojamas pagal 2000/53/EB direktyvą „Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl eksploatuoti netinkamų transporto priemonių“. Po naudojimo padangas reikia surinkti ir jas turi perdirbti gamintojas arba importuotojas. Todėl reikėtų atkreipti dėmesį į padangų perdirbimo būdą.

Padangų perdirbimas yra sudėtingas procesas, nes padangos susideda iš kelių medžiagų. Lengvojo automobilio padangoje yra vidutiniškai iki 25 įvairaus pobūdžio komponentų (daugiausia skirtingų tipų armatūros detalių, pvz., plieninių vielų ir skirtingų tekstilės gaminių), o guminėje dalyje gali būti 12 skirtingų rūšių gumos ir cheminių priedų (Continental, 2021).

Vienas iš padangų perdirbimo būdų yra jų susmulkinimas į 0,7 iki 3 mm dydžio daleles, kurios naudojamos kaip užpildas dirbtinėje velėnoje ir pan. (Kole ir kiti, 2017). Taip pat susmulkintos padangos yra naudojamos kelių tiesimui. Tačiau padangų perdirbimas kelia nerimą, nes perdirbti produktai išmeta nemažą mikroplastiko kiekį į aplinką. 2019 m. Europos cheminių medžiagų agentūra (ECHA) pasiūlė apriboti mikroplastiko naudojimą produktuose ES lygiu. Rekomenduojama uždrausti mikroplastiką, naudojamą kaip užpildą dirbtinės dangos aikštelėse, nustatant šešerių metų pereinamąjį laikotarpį. Jeigu šiai rekomendacijai pritaris Europos Komisija ir ES valstybės narės, tuomet apribojimas bus priimtas 2021 arba 2022 m. (ECHA 2021).

Norint sumažinti mikroplastiko taršą, reikia naujų padangų medžiagų perdirbimo sprendimų. Pavyzdžiui, Suomijoje įmonė pavadinimu „Suomen Rengaskierrätys Oy“ stato naują perdirbimo gamyklą (Kemia, 2020). Gamykla pradės veikti 2023 m. pradžioje ir per metus galės apdoroti 20 000 tonų utilizuotų padangų, o tai prilygsta trečdaliui Suomijoje per metus išmetamų padangų kiekiui. Procesas vis dar grindžiamas padangų smulkinimu, tačiau susmulkintos dalelės yra mažesnės ir skirtingos medžiagos bus smulkinamos atskirai. Pagrindinis perdirbtų padangų gautas produktas bus gumos milteliai, kurie daugelyje daiktų pakeis tikrą gumą.

2021 m. didžiausia pasaulyje padangų gamintoja „Michelin“ pranešė, kad statys nebe-naudojamų padangų perdirbimo gamyklą Čilėje. Gamyklos projektas įgyvendinamas bendradarbiaujant su švedų įmone „Enviro“, kuri sukūrė technologiją, skirtą juodai angliai, pirolizės alyvai, plienui ir dujoms surinkti iš nebenaudojamų padangų. Gamykla per metus galės perdirbti 30 000 tonų buldozerio padangų, arba beveik 60% tokių padangų kasmet išmetamų Čilėje. Darbai prasidės 2021 m., o gamybą planuojama pradėti 2023 m.

6. Išvados

Šioje ataskaitoje pagrindinis dėmesys yra skiriamas prevenciniams metodams, kaip sumažinti mikroplastiką, atsirandantį iš nusidėvėjusių padangų. Taip pat trumpai aptariami mikroplastiko pašalinimo būdai. Tačiau mikroplastiko pašalinimas iš aplinkos yra brangus ir sudėtingas procesas. Prevenciniai metodai yra ekonomiškai ir dauguma jų nepriklauso nuo nuolatos tobulėjančių technologijų. Todėl prioritetas yra teikiamas mikroplastikų susidarymo stabdymui arba mažinimui, o po to – jų plitimo į aplinką mažinimui arba stabdymui.

Šioje ataskaitoje aptariami prevenciniai metodai: tinkamas padangų naudojimas (reguliarus padangų slėgio ir ratų suvedimo tikrinimas), vairavimo įpročiai (stipraus akseleravimo ir stabdymo vengimas) ir padangų charakteristika (dygliuotos ir nedygliuotos padangos, ekologiškos padangos). Šie metodai ne tik sumažina mikroplastiko susidarymą, bet ir suteikia naudos, pavyzdžiui, pagerina oro kokybę miestuose, padidina eismo saugumą, mažina triukšmą ir degalų sąnaudas.

Kaip įgyvendinti šiuos metodus ir pakeisti vairuotojų elgesį? Pirmiausia reikia šviesti vairuotojus ir vykdyti visuomenės informavimo kampanijas. Galima sukurti vietos gaires, kurios padėtų žmonėms išsirinkti tinkamas padangas atsižvelgiant į tos vietovės oro sąlygas. Mašinos galėtų būti įrengiami degalų sąnaudų matuokliai. Šie būdai ne tik skatintų ekonomiškumą, bet ir prailgintų padangų tarnavimo laiką ir sumažintų padangų nusidėvėjimą. Kai kuriems metodams įgyvendinti gali prireikti ir vietos politikų pagalbos. Padangų slėgį lengva patikrinti patiems vairuotojams, tačiau ratų suvedimą turi patikrinti profesionalai. Kadangi tokie patikrinimai nėra privalomi ir reikalauja papildomų išlaidų, vairuotojai apie juos pamiršta. Tačiau padangų nusidėvėjimas priklauso nuo tinkamo ratų suvedimo, todėl kasmetinės patikros turėtų būti privalomos. Į padangų etiketes turėtų būti įtrauktas standartizuotas nusidėvėjimo žymėjimas. Šiuo metu atsižvelgiama tik į degalų naudojimo efektyvumą, sukibimą su šlapia kelio danga ir išorinį triukšmą. Galiausiai galėtų būti skiriamos subsidijos už ekologiškų padangų ir elektromobilių naudojimą, kad būtų pagerintas technologijų vystymasis.

Taikant prevencinius metodus galima tik sumažinti mikroplastiko išmetimą, o ne visiškai jį sustabdyti. Todėl yra reikalingi ir pašalinimo metodai. Tačiau kol kas jie yra mažai naudojami. Reikia atlikti daugiau tyrimų norint sukurti aplinkai draugiškus ir ekonomiškus metodus. Mikroplastiko pašalinimo nauda turėtų būti didesnė už pašalinimui panaudotų išteklių išmetamų teršalų kiekį.

Pagrindinis ES „Tvaraus ir pažangaus judumo strategijos“ tikslas yra iki 2050 m. bent 90% sumažinti su transportu susijusias ŠESD emisijas, palyginti su 1990 m. Tačiau nepakanka mažinti tik anglies dioksido taršą, reikia atsižvelgti į kitus su eismu susijusius užteršimus, pvz., padangų ir kelio dangos nusidėvėjimo daleles. Reikia informuoti visuomenę, kad ši problema būtų išspręsta. Daug ką galima nuveikti ir be tolesnio techninio tobulinimo. Bet sėkmingam įgyvendinimui reikia visų suinteresuotųjų šalių: politikos formuotojų, pramonės, savivaldybių ir vartotojų įsipareigojimo.

Rekomendacijos tolesniam skaitymui:

Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järhlskog, I., Lithner, D., Polukarova, M. & Strömwall, A.-M. 2020. Microplastics from tyre and road wear – A literature review. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), VTI rapport 1028A. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1430623/FULLTEXT02.pdf>

Sundt, P., Syversen, F., Skogesal, O. & Schulze, P.-E. 2016. Primary microplastic-pollution: Measures and reduction potentials in Norway. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M545/M545.pdf>

Vogelsang, C., Lusher, A.L., Dadkhah, M.E., Sundvor, I., Umar, M., Ranneklev, S.B., Eidsvoll, D. & Meland, S. 2020. Microplastics in road dust – characteristics, pathways and measures. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet). Norwegian Institute for Water Research (NIVA). <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M959/M959.pdf>

Šaltiniai

Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järleskog, I., Lithner, D., Polukarova, M. & Strömvall, A.-M. 2020. Microplastics from tyre and road wear – A literature review. Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), VTI rapport 1028A. Prieiga per internetą:

<http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1430623/FULLTEXT02.pdf>

CGI 2014. Modeling the Relation Between Driving Behavior and Fuel Consumption. Prieiga per internetą:

https://www.cgi.com/sites/default/files/white-papers/driving_behavior_and_fuel_consumption_white_paper.pdf

Chen, Z. & Prathaban, S. 2013. Modeling of Tyre Parameters' Influence on Transport Productivity for Heavy Trucks. Göteborg, Sweden: Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology. Prieiga per internetą:

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/191805/191805.pdf>

City of Helsinki 2020. Kitkarengaskampanja (Campaign for non-studded winter tyres). Prieiga per internetą: <https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/kitkat>

Clewat 2021. Snow control. Prieiga per internetą: <https://clewat.com/en/snow-control/>

Continental 2021. Tyre knowledge: Tyre mixture. Prieiga per internetą: <https://www.continental-tyres.com/car/tyre-knowledge/tyre-basics/tyre-mixture>

EC 2021. European Commission. Microplastics pollution – measures to reduce its impact on the environment. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12823-Microplastics-pollution-measures-to-reduce-its-impact-on-the-environment_en

EC 2019. European Commission. Transport in the European Union. Current Trends and Issues. March 2019. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>

- ECHA 2021. Microplastics. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>
- Eisentraut, P., Dümichen, E., Ruhl, A. S., Jekel, M., Albrecht, M., Gehde, M. & Braun, U. 2018. Two Birds with One Stone—Fast and Simultaneous Analysis of Microplastics: Microparticles Derived from Thermoplastics and Tire Wear. *Environmental Science & Technology Letters* 5: 608-613.
- Essel, R., Engel, L., Carus, M. & Ahrens, R. 2015. Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany. Federal Environment Agency of Germany. Prieiga per internetą: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_64_2015_sources_of_microplastics_relevant_to_marine_protection_1.pdf
- Eunomia & ICF 2018. Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products. Final report for DG Environment of the European Commission. Prieiga per internetą: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/investigating-options-for-reducing-releases-in-the-aquatic-environment-of-microplastics-emitted-by-products/>
- Evans, A. & Evans, R. 2006. The Composition of a Tyre: Typical Components. The Waste & Resources Action Programme TYR0009-02. Prieiga per internetą: <https://studylib.net/doc/18366029/the-composition-of-a-tyre--typical-components>
- Firestone 2019. Do I Need an Alignment with New Tyres? Prieiga per internetą: <https://blog.firestonecompleteautocare.com/alignment/do-i-need-an-alignment-with-new-tyres/>
- GESAMP 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment" (Kershaw, P.J. and Rochman, C.M., eds.). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Prieiga per internetą: <http://www.gesamp.org/publications/microplastics-in-the-marine-environment-part-2>
- Grigoratos, T. & Martini, G. 2014. Non-exhaust traffic related emissions. Brake and tyre wear PM. JRC Science and policy reports, European Union 2014. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/non-exhaust-traffic-related-emissions-brake-and-tyre-wear-pm>

- Hann, S., Sherrington, C., Jamieson, O., Hickman, M., Kershaw, P., Bapasola, A. & Cole, G. 2018. Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products. Final report for DG Environment of the European Commission. Prieiga per internetą: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/investigating-options-for-reducing-releases-in-the-aquatic-environment-of-microplastics-emitted-by-products/>
- HELCOM, 2019. Review of existing policies and research related to microplastics, FanPLESStic-sea 2019 Prieiga per internetą: <https://helcom.fi/media/publications/FanPLESStic-sea-Microplastics-Policy-and-Research-Review.pdf>
- International Mining 2021. Michelin & Enviro to start construction of mining tyre recycling plant in Antofagasta region, Chile. Prieiga per internetą: <https://im-mining.com/2021/02/09/michelin-enviro-start-construction-mining-tyre-recycling-plant-antofagasta-chile/>
- Jørgensen T., Hovin W. & Saba R.G. 2016. Polymer Modified Bitumen – Properties and Specifications. Norwegian Public Roads Administration Report 489 (in Norwegian). Prieiga per internetą: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2671099>
- Järllskog, I., Strömwall, A.-M., Magnusson, K., Gustafsson, M., Polukarova, M., Galfi, H., Aronsson, M. & Andersson-Sköld, Y. 2020. Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban streets and in sweepsand and washwater. Science of the Total Environment 729: 138950. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138950>
- Kemia 2020. Uusi laitos kierrättää renkaat fiksummin. Prieiga per internetą: <https://www.kemia-lehti.fi/uusi-laitos-kierrattaa-renkaat-fiksummin/>
- Kole, P.J., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J. & Ragas, A.M.J. 2017. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 1265. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Lassen, C., Foss Hansen, S., Magnusson, K., Norén, F., Bloch Hartmann, N. I., Jensen, P. R., Nielsen, T.G. & Brinch, A. 2015. Microplastics – Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark, Environmental project No. 1793. The Danish Environmental Protection Agency. Prieiga per internetą: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/10/978-87-93352-80-3.pdf>

- Li, Y., Zuo, S., Lei, L., Yang, X. & Wu, X. 2011. Analysis of impact factors of tyre wear. *Journal of Vibration and Control* 18(6): 833–840. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/1077546311411756>
- Liu, F., Vianello, A. & Vollertsen, J. 2019. Retention of microplastics in sediments of urban and highway stormwater retention ponds. *Environmental Pollution* 255: 113335. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113335>
- Michelin 2020. Michelin and Enviro partner to develop an innovative technology to transform used tyres into raw materials. Prieiga per internetą: <https://www.michelin.com/en/press-releases/michelin-and-enviro-partner-to-develop-an-innovative-technology-to-transform-used-tyres-into-raw-materials/>
- Nokian Renkaat 2021a. Rengastietoa: Renkaan käyttövinkkejä. Prieiga per internetą: <https://www.nokianrenkaat.fi/innovatiivisuus/rengastietoa/kayttovinkeja/>
- Nokian Renkaat 2021b. Kesärenkaat: Nokian Hakka Green 3. Prieiga per internetą: <https://www.nokianrenkaat.fi/kesarenkaat/nokian-hakka-green-3/>
- Pankkonen, P. 2020. Urban stormwater microplastics – Characteristics and removal using a developed filtration system, Master's Thesis, Aalto University, 52 p. Prieiga per internetą: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/44294>
- Pohrt, R. 2019. Tyre wear particle hot spots – Review of influencing factors. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering* 17(1): 17–27. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.22190/FUME190104013P>
- Setälä, O. & Suikkanen, S. 2020. Suomen merialueen roskaantumisen lähteet. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 9/2020. Prieiga per internetą: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/313542>
- Simon, M., van Alst, N. & Vollertsen, J. 2018. Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research* 142: 1–9. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>

- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M.C.M. & Ni, B.-J. 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal, *Water Research* 152: 21–37. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Sundt, P., Schulze, P.-E. & Syversen, F. 2014. Sources of microplastics-pollution to the marine environment. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet). Prieiga per internetą: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m321/m321.pdf>
- Sundt, P., Syversen, F., Skogesal, O. & Schulze, P.-E. 2016. Primary microplastic-pollution: Measures and reduction potentials in Norway. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet). Prieiga per internetą: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M545/M545.pdf>
- Tuulilasi 2020. Vihreämpää autoilua pohjoisen teille: Uusi Nokian Hakka Green 3 -kesärengas. Prieiga per internetą: <https://www.apu.fi/artikkelit/vihreampaa-autoilua-pohjoisen-teille-uusi-nokian-hakka-green-3-kesarengas>
- Viegand Maagøe A/S 2016. Review study on the Regulation (EC) No 1222/2009 on the labelling of tyres. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/energy/studies/review-study-regulation-ec-no-12222009-labelling-tyres_en
- Vogelsang, C., Lusher, A. L., Dadkhah, M. E., Sundvor, I., Umar, M., Ranneklev, S. B., Eidsvoll, D., Meland, S. 2020. Microplastics in road dust – characteristics, pathways and measures. Norwegian Environment Agency (Miljødirektoratet). Norwegian Institute for Water Research (NIVA). Prieiga per internetą: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M959/M959.pdf>