

CIGAREČIŲ IR KAITINAMŲJŲ LAZDELIŲ FILTRŲ ATLIEKŲ SUKELIAMOS TARŠOS TYRIMAI IR VERTINIMAS

Monika Dukštaitė¹, Aušra Zigmontienė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Aplinkos apsaugos katedra

El. p. ¹dukstaite.monika@gmail.com; ²ausra.zigmontiene@vilniustech.lt

Anotacija. Pasaulyje kiekvienais metais surūkoma daugiau nei 5,5 trilijonai cigarečių, kurios tam tikru būdu yra šalinamos. Dėl rūkalių įpročio numesti nuorūką bet kur, šios atliekos yra vienos dažniausiai randamų atliekų aplinkoje visame pasaulyje. Šios atliekos yra ne tik vizuali tarša, bet ir daro rimtą žalą gamtinei aplinkai dėl cigarečių filtruose susikaupusių metalų. Tyrimų tikslas – nustatyti iš cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių filtrų į aplinką galinčių patekti metalų kiekius. Tyrimo objektai – cigarečių filtrai, kaitinamųjų lazdelių filtrai, sunkieji metalai (Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn). Eksperimentiniai tyrimai atlikti VILNIUS TECH Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratorijose, vadovaujantis LST EN 12457-4 standartu. Nustatyta, kad iš cigarečių filtrų daugiausia išsiplovė kadmio – 4,577±0,018 mg/kg, naudojant distiliuotą vandenį. Cinko, mangano ir chromo daugiausia išsiplovė iš cigarečių naudojant CaCl₂ (pH = 6,1) tirpalą, atitinkamai 3,629±0,016 mg/kg, 2,328±0,005 mg/kg, 0,896±0,000 mg/kg. Vario ir švino daugiausia išsiplovė iš kaitinamųjų lazdelių atitinkamai 4,272±0,012 mg/kg naudojant distiliuotą vandenį ir 1,329±0,004 mg/kg naudojant CaCl₂ tirpalą.

Reikšminiai žodžiai: cigarečių filtrai, kaitinamųjų lazdelių filtrai, cigaretės, kaitinamosios lazdelės, sunkieji metalai, metalų išsiplovimas, Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn.

Įvadas

Aplinka suvokiama kaip gamtoje tarpusavyje funkcionuojanti susijusių elementų, tokių kaip žemės paviršiaus ir gelmių, oro, vandens, dirvožemio, floros ir faunos, organinių ir neorganinių medžiagų, žmogaus veiklos sukurtų komponentų visuma, tačiau dėl klestinčios pramonės bei ekonomikos, transporto priemonių plėtos, augančio žmonių ir atliekų kiekio šių gamtos komponentų tarša vis didėja. Būtent netinkamas atliekų tvarkymas gali sukelti katastrofiškus padarinius visiems gamtoje funkcionuojantiems elementams, o tai kelia vis didesnę visuomenės ir valdžios institucijų susirūpinimą, todėl atliekų tvarkymo ir su ja susijusios problemos priskiriamos prie svarbiausių ir neatidėliotinai sprendinų problemų. Viena iš tokių atliekų – tabako produktų atliekos.

Kiekvienais metais pasaulyje surūkoma daugiau nei 5,5 trilijonai cigarečių, kurių nuorūkos tampa atliekomis ir tam tikru būdu yra šalinamos. Kasmet pasaulyje susidaro apie 1,2 milijonų tonų cigarečių nuorūkų atliekų. Remiantis Amerikos vėžio draugijos informacija, manoma, kad šie skaičiai iki 2025 m. padidės daugiau nei 50 % (Kadir ir

Sarani, 2015). Cigarečių atliekos yra viena iš dažniausiai aptinkamų atliekų miesto vietovėse visame pasaulyje, tai sudaro apie 22–46 % visų randamų atliekų miestuose (Novotny et al., 2009; Roder Green et al., 2014). Taip pat cigarečių atliekos yra antros iš dažniausiai randamų atliekų pakrantėse (Koutela et al., 2020) bei dažniausiai aptinkama atlieka Europos paplūdimiuose (European Commission, 2019). Tai nereiškia, kad šios atliekos šalinamos paplūdimiuose tiesiogiai, tačiau, numetus šias atliekas ant žemės miesto aplinkoje, jos gali patekti į miesto kanalizacijos vamzdžius, o vėliau į – upelius, upes ir į jūras ar vandenynus (Novony et al., 2009; Koutela et al., 2020). Būtent didžiausia cigarečių nuorūkų problema kyla dėl rūkalių įpročių numesti nuorūką bet kur – tai lemia šių atliekų kaupimąsi aplinkoje (Rath et al., 2012).

Cigarečių nuorūkos susideda iš tabako liekanų, popieriaus ir filtrų. Nors kiekvienas komponentas kelia skirtingus aplinkosaugos klausimus, tačiau dabartinis dėmesys sutelkiamas į cigarečių filtrų, patekusių į aplinką, negalėjimą biologiškai skaidytis (Barnes, 2011; Novotny et al., 2009; Wallbank et al., 2017). Dėl šios priežasties

tabako gaminių filtrai, kuriuose yra plastiko, buvo priskirti vienkartiniais plastikiniams gaminiams (European Commission, 2019). Tiesa, pastebimai mažiau dėmesio skiriama cigarečių filtruose įstrigusiems toksiškiems komponentams bei jų keliamai žalai aplinkai.

Auginant tabaką ir gaminant cigaretes, gali būti naudojama daugiau kaip 4000 skirtingų cheminių junginių (Slaughter et al., 2011). Kitų mokslininkų teigimu, iš cigarečių dūmų ir atliekų gali išsiskirti daugiau nei 7000 cheminių junginių, iš kurių bent 70 – kancerogeniški (W. Lee ir C. C. Lee, 2015). Būtent cigarečių filtrams patekus į aplinką, iš filtrų gali išsiplauti toksiški junginiai bei metalai, kurie sukelia neigiamą poveikį aplinkai (Araújo ir Costa, 2019; Booth et al., 2015; W. Lee ir C. C. Lee, 2015; Micevska et al., 2006; Parker ir Rayburn, 2017; Register, 2000; Slaughter et al., 2011; Koutela et al., 2020).

Atsižvelgiant į tai, buvo nustatyta, kad cigarečių filtrai yra labai toksiški įvairioms rūšims, pvz., žuvims (Slaughter et al., 2011), žuvų ir varlių embrionams (W. Lee ir C. C. Lee, 2015; Parker ir Rayburn, 2017), vandens blusoms (*Daphnia magna*) (Register, 2000), mikrobu ekosistemos jūrų nuosėdose (Quemeneur et al., 2020); jūrų bakterijoms (*Vibrio fisheri*) (Micevska et al., 2006), jūrų sliškams *Hediste diversicolor* (Wright et al., 2015) bei sraigėms (Booth et al., 2015; Gill et al., 2018).

Moksliniuose leidiniuose galima rasti ribotą paskelbtų tyrimų, vertinančių cheminių medžiagų, išsiplaukančių iš cigarečių filtrų, kiekį (Chevalier et al., 2018; Desideri et al., 2019; Pashapour et al., 2015; Dobaradaran et al., 2016, 2019; Moerman ir Potts, 2011; Hernandez, 2018; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010; Moriwaki et al., 2009; Cardoso et al., 2018; Kautela et al., 2020; Pelit et al., 2013). Tirtosios medžiagos dažniausiai buvo metalai (Moerman ir Potts, 2011; Dobaradaran et al., 2016, 2019; Cardoso et al., 2018; Hernandez, 2018; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010; Moriwaki et al., 2009; Pelit et al., 2013), tačiau taip pat atlikti radionuklidų (Desideri et al., 2019), nikotino (Roder Green et al., 2014), policiklinių aromatinių angliavandenių (Dobaradaran et al., 2019) išsiplovimo iš cigarečių filtrų tyrimai.

Moriwaki'is ir jo bendraautoriai (2009) tyrė Cd, Cu, Pb, Cr ir As metalų išsiplovimą iš cigarečių filtrų, tačiau eliuate aptiko tik As metalą, kurio koncentracija siekė 0,041 mg/l. Kiti mokslininkai (Moerman ir Potts, 2011) tyrė Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti ir Zn išsiplovimą iš cigarečių filtrų, įvertindami mirkymo laikotarpio bei pH priklausomybes. Mokslininkų teigimu, tirpalo pH neturi lemiamos reikšmės metalų išsiplovimo kiekiui iš cigarečių filtrų (analizuojant natūralių kritulių pH intervalą)

(Moerman ir Potts, 2011; Dobaradaran, 2019), tačiau pastebėta metalų išsiplovimo priklausomybė nuo laiko. Rezultatai rodo, kad kuo ilgiau aplinkoje būna cigarečių filtrų atliekos, tuo labiau šie metalai išsiplauna į aplinką (Moerman ir Potts, 2011). Dobaradaranas su kolegomis (2016) savo tyrimo metu įvertino Cd, Fe, As, Ni, Cu, Zn išsiplovimus iš cigarečių filtrų jūrinėje aplinkoje, imdami mėginius iš pakrantės zonos. Autorių teigimu, cigarečių atliekos – viena iš pakrantės zonos užterštumo metalais priežasčių (Dobaradaran et al., 2016).

Tačiau dar mažiau tyrimų atlikta vertinant iš kaitinamųjų lazdelių išsiplaukančių metalų kiekius. 2014 m. viduryje buvo pristatytas neužsidegantis tabako gaminy – kaitinamoji lazdelė. Veikimo principas – esant gerokai žemesnei temperatūrai, nei reikia degimui, tabako lazdelė kaitinama specialiai sukurtu laikikliu. Tokio „degimo“ metu nesusidaro pelenų ir neišsiskiria stipraus dūmų kvapo, palyginti su įprastomis cigaretėmis. Kaitinamosios lazdelės susideda iš tabako, polimerinės plėvelės filtro, mažo tankio celiuliozės acetato filtro ir tuščiavidurio acetato vamzdelio, skiriančio tabaką nuo polimerinės plėvelės filtro (Smith et al., 2016). Kaitinamosios lazdelės buvo suprojektuotos taip, kad sumažintų kenksmingų cheminių junginių poveikį. Tačiau šiuo metu kaitinamųjų lazdelių poveikis įvertintas tik oro kokybei (Mitova et al., 2016; Bekki et al., 2017), o kaitinamųjų lazdelių atliekų, patekusių į aplinką, poveikis nėra žinomas. Mokslinėse publikacijose aptinkamas tik vienas atliktas tyrimas, kurio metu palygintas metalų (Al, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Ba, Hg, Pb), išsiplaukančių iš kaitinamųjų lazdelių, kiekis su metalų išsiplovimu iš įprastų cigarečių (Kautela et al., 2020). Autorės teigimu, palyginus nerūkytas kaitinamąsias lazdeles su nerūkytomis cigaretėmis, didesnės metalo koncentracijos buvo pastebėtos iš nerūkytų cigarečių. Priešingi rezultatai pastebimi rūkytose cigaretėse ir rūkytose kaitinamosiose lazdelėse – didesnė išsiplovusių metalų koncentracija pastebima iš kaitinamųjų lazdelių. Daroma prielaida, kad taip nutiko dėl sumažėjusio cigarečių svorio – pasišalino pelenai (Kautela et al., 2020). Tačiau tyrimų, vertinančių metalų išsiplovimą iš atskirų kaitinamųjų lazdelių dalių, pavyzdžiui, filtrų, nėra.

Šiame darbe pateikiamas metalų (Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn) išsiplovimo iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų tyrimas. Siekiant įvertinti metalų išsiplovimo iš filtrų koncentracijas skirtingomis sąlygomis bei palyginti iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplaukančių metalų kiekius, eliuatui ruošti naudoti skirtingi tirpalai – H₂O ir 0,01 M CaCl₂ tirpalas.

Metodika

Siekiant ištirti metalų, tokių kaip Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn, galimus patekti į aplinką iš cigarečių filtrų atliekų kiekius, atliekamas metalų išsiplovimo iš cigarečių ir tabako lazdelių filtrų tyrimas. Tyrimas atliekamas vadovaujantis LST EN 12457-4 standartu „Atliekų apibūdinimas. Išplovimas. Iš grūdėtų atliekų išplautų medžiagų ir dumblo sudėties atitikties tyrimas. 4 dalis. Vienpakopis partijos (tyrinio) tyrimas, kai skysčio ir kietosios medžiagos, kurios sudėtyje yra labai kietų medžiagų, santykis 10 l/kg ir dalelių dydis mažesnis kaip 10 mm (dydį mažinant arba nemažinant)“.

Šis tyrimas atliekamas siekiant gauti informaciją apie atliekų elgseną jas išplaunant. Iš rūkytų cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių filtrų išsiplauna didesni kiekiai metalų, lyginant su nerūkytomis (Pashapour et al., 2015; Hernandez, 2018; Koutela et al., 2020). Kadangi būtent tokios atliekos dažniausiai aptinkamos aplinkoje, šio tyrimo metu lyginamos įprastų rūkytų cigarečių filtruose ir rūkytų tabako lazdelių filtruose esančių cheminių medžiagų koncentracijos.

Tiriant iš cigarečių ir tabako lazdelių filtrų išsiplaukančių metalų kiekius, neatsižvelgiama į cigarečių ir tabako lazdelių gamintojus. Cigarečių bei tabako lazdelių atliekos iš karto po rūkymo yra surūšiuojamos ir laikomos stikliniuose indeliuose. Vėliau nuo filtrų atskiriami tabako likučiai (1 pav.).



1 paveikslas. Kaitinamųjų lazdelių filtrai, kaitinamųjų lazdelių nuorūkos ir cigarečių filtrai

Siekiant rezultatus gauti artimus natūralioms sąlygoms, atliekos (cigarečių ir kaitinamojo tabako filtrai) nesmulkinamos, nes tokios formos aptinkamos aplinkoje.

Remiantis ISO 11465:1993, nustatoma sausos dalies masė, esant 105 ± 5 °C temperatūrai. Sausos ir drėgnos masės santykis apskaičiuojamas pagal lygtį:

$$DR = 100 \cdot \left(\frac{M_D}{M_W} \right), \quad (1)$$

čia DR – sausosios materijos turinio santykis; M_D – sausoji tiriamosios dalies masė, kg; M_W – neišdžiovinotos tiriamosios dalies masė, kg.

Drėgmės kiekio santykis (%) apskaičiuojamas šia lygtimi:

$$MC = 100 \cdot \frac{(M_W - M_D)}{M_D}. \quad (2)$$

Eliuatas ruošiamas kambario temperatūroje (20 ± 5 °C). Pagrindiniai eliuato ruošimo etapai:

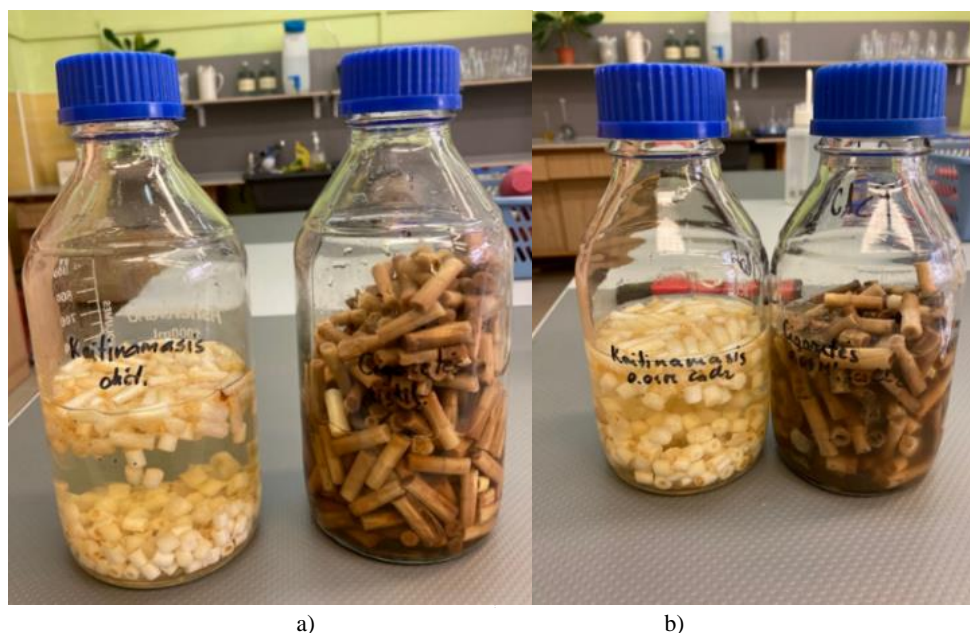
- nuo filtrų pašalinami tabako likučiai;
- atliekos pasveriamos ir sumaišomas su distiliuotu vandeniu (pH = 6,9) standarte nustatytu santykiu L/S = 10 l/kg \pm 2 %. Tai reiškia, kad distiliuoto vandens turi būti dešimt kartų daugiau nei paimto sauso mėginio. Mėginio masė – 50 g, distiliuoto vandens – 500 ml (2 pav., a);
- sumaišius atliekas su distiliuotu vandeniu, mėginys įpilamas į sandarų butelį ir įdedamas į vertikalią kratytuvą. Mėginys kratomas 7 val. \pm 0,5 val.;
- išėmus mėginį iš vertikalaus kratytuvo, 15 min. \pm 5 min. laukiama, kol nusistovės. Paskui mėginys filtruojamas per Vatmano filtrą ir paskui per vakuuminį filtrą su 0,45 μ m membraniiniu filtru;
- išfiltruoti mėginiai parūgštinti 65 % azoto rūgštimi (2 % mėginio tūrio).

Antrojo etapo metu vietoj distiliuoto vandens metalams išsiplauti iš filtrų naudojamas 0,01 M CaCl_2 tirpalas. Ca yra pagrindinis dirvožemių adsorbcijos komplekso kationas, todėl 0,01 M CaCl_2 yra artimas dirvožemio tirpalui (Houba et al., 2000), taip pat tirpalo pH = 6,1, kuris yra artimas aplinkoje aptinkamo lietaus bei dirvožemio pH. Tokiu atveju įvertinamas metalų išsiplovimas artimoms aplinkai sąlygomis.

Tyrimas atliekamas ta pačia tvarka, kaip ir naudojant distiliuotą vandenį. Naudojamo mėginio masė – 30 g, 0,01 M CaCl_2 tirpalo – 300 ml (2 pav., b).

Sunkiųjų metalų koncentracijos nustatomos taikant atominės absorbcijos spektrinės analizės metodą, naudojant spektrometrą *Buck Scientific 210 VGP* remiantis standartizuotomis metodikomis. Sunkieji metalai buvo analizuojami naudojant arba liepsnos atominės absorbcijos spektrofotometrą, arba grafito krosnies atominės absorbcijos spektrofotometrą, priklausomai nuo metalų koncentracijos tirpale. Metalų koncentracijos visuose eliuatuose buvo matuojamos 3 kartus. Apskaičiuota vidutinė vertė ir standartinis nuokrypis.

Atlikus eliuato analizę, apskaičiuojamos komponentų koncentracijos, esančios eliuatuose, išreikštos mg/l.



2 paveikslas. Kaitinamųjų lazdelių filtrų ir cigaretėlių filtrų eliuato paruošimas naudojant: a) H₂O; b) CaCl₂ tirpalą

Iš medžiagos išplautos sudedamosios dalies kiekis apskaičiuojamas remiantis pradinės medžiagos sausąja mase pagal šią lygtį:

$$A = C \cdot \left(\frac{L}{M_D} \right) + \frac{MC}{100}, \quad (3)$$

čia A – išsiskyres sudedamosios dalies kiekis, mg/kg sausosios masės; C – tam tikros sudedamosios dalies eliuato koncentracija, mg/l; L – panaudoto išplaunamojo skysčio tūris, l; M_D – sausoji tiriamosios dalies masė, kg; MC – drėgmės kiekio santykis (2 formulė), %.

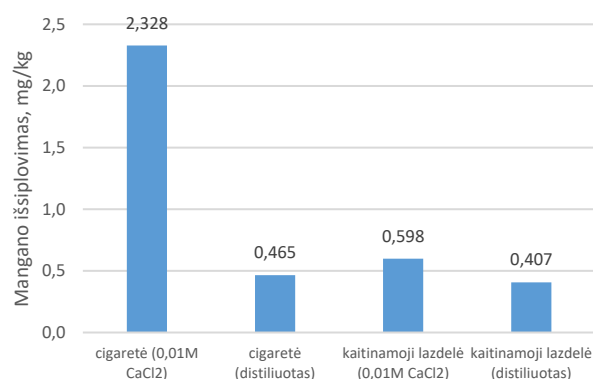
Įvertinama, kad vidutinis vienoje cigaretėje esančių filtrų svoris yra ~0,015 g, o kaitinamosiose lazdelėse esančių filtrų svoris – ~0,031 g. Proporcijos principu apskaičiuojama, kokia sunkiųjų metalų koncentracija išsiplauna iš 100 vnt. cigaretėlių filtrų ir kokia sunkiųjų metalų koncentracija išsiplauna iš 100 vnt. kaitinamųjų lazdelių filtrų.

Rezultatai ir jų analizė

Vertinant cigaretėlių ir kaitinamųjų lazdelių filtruose esančių sunkiųjų metalų poveikį aplinkai, atliktas išsiplovimo tyrimas, laikantis standarto LST EN 12457-4 reikalavimų. Ištyrus metalų (Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn) sąveiką su distiliuotu vandeniu ir 0,01 M CaCl₂ tirpalu, įvertinta, kiek metalų gali patekti į aplinką iš cigaretėlių filtrų ir kaitinamųjų lazdelių filtrų.

Didžiausia mangano išsiplovimo koncentracija (2,328±0,005 mg/kg) pastebima cigaretėlių filtruose, kai išsiplovimo tyrimas buvo atliktas naudojant 0,01 M CaCl₂

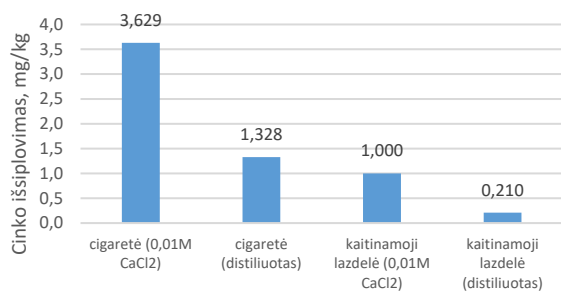
tirpalą (3 pav.). Iš kaitinamųjų cigaretėlių tomis pačiomis sąlygomis išsiplovė 3,89 karto mažiau mangano – 0,598±0,001 mg/kg. Mažiausia mangano koncentracija (0,407±0,002 mg/kg) pastebima kaitinamųjų cigaretėlių filtruose naudojant distiliuotą vandenį. Tomis pačiomis sąlygomis iš cigaretėlių filtrų išsiplovė 0,465±0,002 mg/kg mangano (3 pav.). Mokslinėse publikacijose Mn išsiplovusio iš cigaretėlių filtrų koncentracija svyruoja 10,8–123,1 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011; Pelit et al., 2013; Dobaradaran et al., 2019).



3 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigaretėlių filtrų išsiplovusio Mn koncentracijos, mg/kg

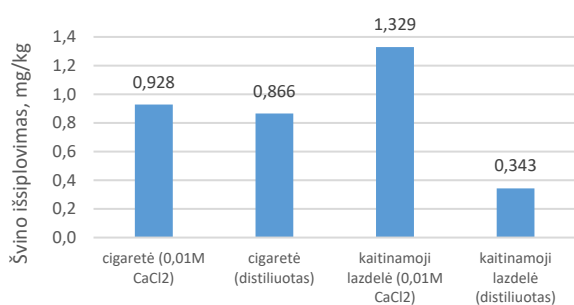
Cinko išsiplovimo koncentracijos pastebimos didesnės, naudojant CaCl₂ tirpalą, lyginant su distiliuotu vandeniu (4 pav.). Iš cigaretėlių filtrų išsiplovė

3,629±0,016 mg/kg, kaitinamosios lazdelės – 1,000±0,002 mg/kg cinko naudojant CaCl₂ tirpalą. Naudojant distiliuotą vandenį iš cigarečių filtrų išsiplovė 2,73 karto mažiau cinko – 1,328±0,006 mg/kg, o iš kaitinamosios cigaretės – 0,210±0,001 mg/kg (4 pav.). Mokslinėse publikacijose aptinkamos Zn išsiplovimo iš cigarečių filtrų koncentracijos svyruoja nuo 4,5 mg/kg iki 217,0 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011; Dobaradaran et al., 2019; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010; Pelit et al., 2013).



4 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusio Zn koncentracijos, mg/kg

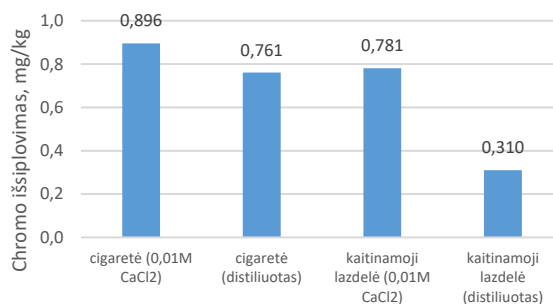
Didžiausia švino koncentracija nustatyta naudojant 0,01 M CaCl₂ išsiplaunant iš kaitinamųjų lazdelių filtrų, koncentracija siekė 1,329±0,004 mg/kg (5 pav.). Tokiomis pačiomis sąlygomis iš cigarečių filtrų išsiplovė 0,928±0,003 mg/kg švino. Naudojant distiliuotą vandenį iš cigarečių filtrų išsiplovė 0,866±0,002 mg/kg, o iš kaitinamųjų lazdelių – 0,343±0,002 mg/kg (5 pav.). Literatūros šaltiniuose Pb išsiplovimas iš cigarečių filtrų siekia 0,8–53,55 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011; Pashapour et al., 2015; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010).



5 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusio Pb koncentracijos, mg/kg

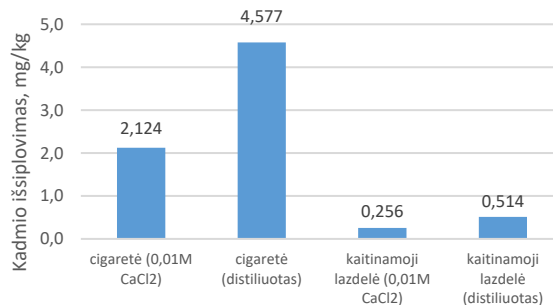
Tiriant chromo išsiplovimą iš filtrų (6 pav.), pastebėta, kad didžiausia šio metalo išsiplovimo koncentracija – cigarečių filtruose, kai naudojamas 0,01 M CaCl₂ –

0,896±0,000 mg/kg, šiek tiek mažesnė išsiplovimo koncentracija, tokiomis pačiomis sąlygomis pastebėta iš kaitinamųjų lazdelių – 0,781±0,002 mg/kg. Mažiausia koncentracija pastebima kaitinamųjų lazdelių filtrų, naudojant distiliuotą vandenį – 0,031±0,002 mg/kg. Moermano ir Potts (2011) atlikto išsiplovimų iš cigarečių filtrų tyrimo metu Cr koncentracija siekė 0,48–4,38 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011).



6 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusio Cr koncentracijos, mg/kg

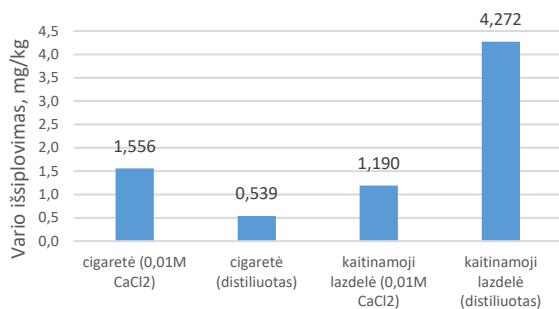
Didžiausia kadmio koncentracija išsiplovė iš cigarečių filtrų, naudojant distiliuotą vandenį – 4,577±0,018 mg/kg, naudojant 0,01 M CaCl₂ – 2,124±0,005 mg/kg. Iš kaitinamųjų lazdelių filtrų atitinkamai išsiplovė 0,514±0,012 mg, 0,256±0,004 mg (7 pav.). Mokslinėse publikacijose skelbiama Cd išsiplovimo iš cigarečių filtrų koncentracija siekia 0,092–5,8 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011; Dobaradaran et al., 2019; Pashapour et al., 2015; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010; Pelit et al., 2013).



7 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusio Cd koncentracijos, mg/kg

Pastebimai didžiausia išsiplovusio vario koncentracija (4,272±0,012 mg/kg) užfiksuota iš kaitinamosios lazdelės filtrų, naudojant distiliuotą vandenį (8 pav.).

Tokiomis pat sąlygomis iš cigaretės išsiplovė $0,539 \pm 0,002$ mg/kg vario (mažiausia koncentracija) (8 pav.). Moksliniuose šaltiniuose Cu koncentracija varijuoja nuo 0,48 mg/kg iki 65,7 mg/kg (Moerman ir Potts, 2011; Pelit et al., 2013; Dobaradaran et al., 2019; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010).



8 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusio Cu koncentracijos, mg/kg

Tyrimo metu gautų metalų išsiplovimo koncentracijų skirtumą tarp mokslinėse publikacijose aptinkamų verčių galėjo lemti skirtingos taikytos metodikos. Šio tyrimo metu nebuvo vertinta metalų išsiplovimo priklausomybė nuo laiko. Taip pat neatsižvelgta į cigarečių gamintojus. Be kita ko, svarbu pabrėžti, kad eliuatui ruošti naudotos aplinkai artimos sąlygos – nevertinti metalų išsiplovimai smarkiai rūgštinėje aplinkoje (Moerman ir Potts, 2011; Pelit et al., 2013; Dobaradaran et al., 2019; Mussalo-Rauhamaa et al., 2010; Pashapour et al., 2015).

Didesnės metalų koncentracijos, tokių kaip Cr, Pb, Mn, Zn bei Cu (iš cigarečių filtrų), nustatytos eliuatuose, kuriems ruošti buvo naudotas 0,01 M tirpalas, lyginant su H₂O (3–6 pav., 8 pav.). Tik Cu (iš kaitinamųjų lazdelių) ir Cd didesni išsiplovimai aptinkami eliuatuose, kuriems ruošti buvo naudotas H₂O, lyginant su 0,01 M tirpalu (7–8 pav.). Atsižvelgiant į kitų mokslininkų darbuose pateiktas išvadas, kad metalų išsiplovimui iš filtrų neturi įtakos eliuatui ruošti naudoto tirpalo pH (Moerman ir Potts, 2011; Kautela et al., 2020), daroma prielaida, kad metalų mobilumui bei išsiplovimui iš kaitinamųjų lazdelių bei cigarečių filtrų turi eliuatui ruošti naudojami tirpalai, jų sudėtis, o ne pH.

Naudojant 0,01 M CaCl₂ eliuatui ruošti, gaunamos didesnės metalų (Mn, Cu, Pb, Zn) koncentracijos, lyginant su H₂O (3–6 pav., 8 pav.) (Bakircioglu et al., 2011). 0,01 M CaCl₂ tirpalas yra geresnis išploviklis nei distiliuotas vanduo. Taip pat, kadangi 0,01 M tirpalo yra žemesni

pH, lyginant su H₂O, tirpalas gali lengviau išplauti silpnai adsorbuotus elementus, tokius kaip Zn (Lov et al., 2019). Taip pat Cu, Pb – labai jautrūs kompleksavimo procesams, todėl tiriant jų mobilumą ir išsiplovimus, naudojant skirtingas metodikas, gali būti pastebimi dideli koncentracijų skirtumai (5 pav., 8 pav.) (van der Sloot et al., 1997; Sahuquillo et al., 2002). Analizuojant Cd išsiplovimą, pastebėta, kad šis metalas druskingoje aplinkoje mažiau judrus nei bedruskėje aplinkoje (7 pav.) (Bell et al., 1991; Li ir Shuman, 1997).

Atsižvelgiant į tai, kad cigaretėse ir kaitinamosiose lazdelėse naudojamų filtrų svoriai skiriasi, įvertinamas iš 100 vienetų filtrų išsiplovusių metalų kiekis (9 pav.)

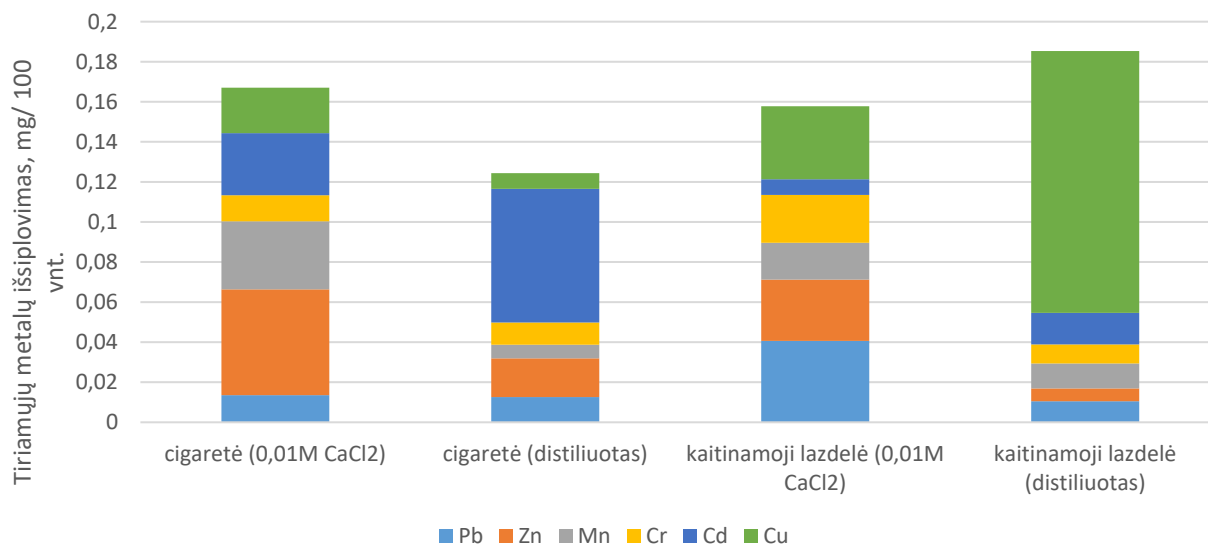
Daugiausia tiriamųjų metalų išsiplovė iš kaitinamųjų lazdelių naudojant distiliuotą vandenį – $0,185 \pm 0,001$ mg/100 vnt. filtrų. Didžiąją tiriamųjų išsiplovusių metalų dalį sudaro Cu – 70,7 %, Cd sudaro 8,5 %, Mn – 6,7 %, Pb – 5,7 %, Cr – 5,0 %, o Zn – 3,4 % visų išsiplovusių tiriamųjų metalų iš kaitinamųjų lazdelių filtrų, naudojant distiliuotą vandenį, dalį.

Mažiausiai tiriamųjų metalų išsiplovė iš cigarečių naudojant distiliuotą vandenį – $0,124 \pm 0,000$ mg/100 vnt. filtrų. Didžiausią tiriamųjų išsiplovusių metalų dalį sudaro Cd 53,6 %, mažiausią Mn – 5,4 %. Zn sudaro 15,6 %, Pb – 10,2 %, Cr – 8,9 %, Cu – 6,3 % visų išsiplovusių tiriamųjų metalų iš cigarečių filtrų, naudojant distiliuotą vandenį, dalį.

Iš cigarečių filtrų, naudojant CaCl₂, iš viso išsiplovė $0,167 \pm 0,001$ mg/100 vnt. filtrų tiriamųjų metalų. Zn sudarė 31,7 %, Mn – 20,3 %, Cd – 18,5 %, Cu – 13,6 %, Pb – 8,1 %, Cr – 7,8 %, visų išsiplovusių tiriamųjų metalų iš cigarečių filtrų, naudojant 0,01 M CaCl₂, dalį.

Iš kaitinamųjų lazdelių filtrų naudojant CaCl₂ iš viso išsiplovė $0,158 \pm 0,001$ mg/100 vnt. filtrų tiriamųjų metalų. Pb sudarė 25,7 %, Cu – 23,1 %, Zn – 19,4 %, Cr – 15,2 %, Mn – 11,6 %, Cd – 5,0 %.

Iš 9 paveikslo matome, kad artimomis natūraliai aplinkai sąlygomis (0,01 M CaCl₂) daugiau tirtų metalų (Pb, Zn, Mn, Cr, Cd, Cu) išsiplaus iš cigarečių filtrų, lyginant su kaitinamosiomis cigaretėmis, analizuojant tą patį filtrų vienetų skaičių. Lyginant (9 pav.) metalų išsiplovimus naudojant distiliuotą vandenį, nustatyta, kad daugiausia metalų išsiplaus iš kaitinamųjų lazdelių filtrų, analizuojant tą patį vienetų skaičių. Svarbu pabrėžti, kad didžiausią tirtųjų metalų dalį (kaitinamųjų lazdelių atveju naudojant H₂O) sudarė Cu. Kaip ir buvo minėta, Cu dėl kompleksavimo procesų gali pasiekti koncentracijas, kurios gerokai viršija pusiausvyros vertes



9 paveikslas. Iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų išsiplovusių Pb, Zn, Mn, Cr, Cd, Cu metalų koncentracijos, vertinant 100 vnt. filtrų

(van der Sloot et al., 1997; Sahuquillo et al., 2002). Norint įvertinti Cu išsiplovimą iš kaitinamųjų lazdelių, reikalingi išsamūs moksliniai tyrimai. Tuo atveju, jei nevertinama išsiplovusio Cu koncentracijos (visais atvejais), daugiausia metalų išsiplovė iš cigarečių (0,01 M CaCl₂). Pastebima tendencija, kad didesnės išsiplovusių metalų vertės gautos esant artimoms aplinkai sąlygoms – naudojant 0,01 M CaCl₂.

Išvados

1. Iš cigarečių filtrų išsiplovė didesnis metalų (Mn, Zn, Cd, Cr) kiekis, lyginant su kaitinamųjų cigarečių filtrais, tokiomis pačiomis sąlygomis.

2. Iš cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių filtrų išsiplovusių metalų kiekis priklauso nuo eliuotui ruošti naudojamo tirpalo. Iš cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių filtrų išsiplovusių metalų (Pb, Zn, Mn, Cr) didesnės koncentracijos nustatytos naudojant CaCl₂ tirpalą, lyginant su H₂O. 0,01 M CaCl₂ tirpalas yra geresnis Pb, Zn, Mn, Cr metalų išploviklis nei distiliuotas vanduo.

3. Cu ir Pb gautos nestabilios vertės. Nustatyta, kad iš kaitinamųjų lazdelių filtrų naudojant 0,01 M CaCl₂ tirpalą išsiplovė didesnis Pb kiekis, lyginant su cigarečių filtrais, tačiau, naudojant H₂O, didesnės išsiplovusio Pb vertės nustatytos iš cigarečių filtrų. Cu didesnė koncentracija nustatyta vertinant kaitinamųjų lazdelių filtrus naudojant H₂O, o naudojant 0,01 CaCl₂ tirpalą didesnė išsiplovusio Cu koncentracija pastebėta iš cigarečių filtrų.

Tokius rezultatus galėjo lemti tai, kad Cu ir Pb yra jautrūs kompleksavimo procesams, todėl analizuojant jų mobilumą, gali būti pastebimi dideli koncentracijų skirtumai.

4. Cd atveju didesnės koncentracijos nustatytos naudojant H₂O. Atsižvelgiant į analizuotus mokslinius tyrimus, daroma prielaida, kad tokius rezultatus lėmė tai, jog Cd didesnis mobilumas pastebimas bedruskėje aplinkoje.

5. Didžiausias tirtų metalų (Pb, Zn, Mn, Cr, Cd, Cu) kiekis išsiplovė iš kaitinamųjų lazdelių naudojant distiliuotą vandenį. Tačiau pusė šio kiekio sudarė Cu. Tokią Cu vertę galėjo lemti Cu jautrumas kompleksavimo procesams. Neatsižvelgiant į Cu koncentracijas (visais atvejais), daugiausia metalų išsiplovė iš cigarečių filtrų naudojant CaCl₂ tirpalą.

6. Norint visiškai suprasti metalų, išsiplaunančių iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų, elgesį ir įvertinti poveikį aplinkai, būtini platesni išsiplaunančių iš kaitinamųjų lazdelių ir cigarečių filtrų metalų tyrimai.

7. Siekiant sumažinti cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių atliekų kaupimąsi aplinkoje bei jų sukeltą neigiamą poveikį aplinkai, būtina imtis atitinkamų priemonių. Vienas pagrindinių veiksnių, norint sumažinti aplinkos taršą šiomis atliekomis, yra švietimas. Taip pat būtina taikyti gamintojų atsakomybės principą cigarečių ir kaitinamųjų lazdelių filtrams, sukurti mokesčių sistemą ir taikyti baudžiamąją atsakomybę už netinkamą atliekų šalinimą bei tvarkymą. Be to, labai svarbu nagrinėti šių pavojingų atliekų perdirbimo galimybes.

Literatūra

- Araújo, M. C. B., & Costa, M. F. (2019). A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environmental Research*, 172, 137–149. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.005>
- Bakircioglu, D., Bakircioglu Kurtulus, Y., & Ibar, H. (2011). Comparison of extraction procedures for assessing soil metal bioavailability of wheat grains. *Clean – Soil, Air, Water*, 39(8), 728–734. <https://doi.org/10.1002/clen.201000501>
- Barnes, R. L. (2011). Regulating the disposal of cigarette butts as toxic hazardous waste. *Tobacco Control*, 20, 45–48. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.041301>
- Bekki, K., Inaba, Y., Uchiyama, S., & Kunugita, N. (2017). Comparison of chemicals in mainstream smoke in heat-not-burn tobacco and combustion cigarettes. *Journal of UOEH*, 39(3), 201–207. <https://doi.org/10.7888/juoeh.39.201>
- Bell, P. F., James, B. R., & Chancy, R. L. (1991). Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, 20, 481–486. <https://doi.org/10.2134/jeq1991.00472425002000020023x>
- Booth, D. J., Gribben, P., & Parkinson, K. (2015). Impact of cigarette butt leachate on tidepool snails. *Marine Pollution Bulletin*, 95, 362–364. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.004>
- Cardoso, L. S., Estrela, F. N., Chagas, T. Q., da Silva, W. A. M., de Oliveira Costa, D. R., Pereira, I., Vaz, B. G., de Lima Rodrigues, A. S., & Malafaia, G. (2018). The exposure to water with cigarette residue changes the anti-predator response in female Swiss albino mice. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 8592–8607. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1150-4>
- Chevalier, Q., Hadri, H. E., Petitjean, P., Bouhnik-Le Coz, M., Reynaud, S., Grassl, B., & Gigault, J. (2018). Nano-litter from cigarette butts: Environmental implications and urgent consideration. *Chemosphere*, 194, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.158>
- Desideri, D., Meli, M. A., & Roselli, C. (2019). Leaching tests to assess the release of ²¹⁰Po from discarded cigarette butts. *Microchemical Journal*, 145, 42–46. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.10.008>
- Dobaradaran, S., Nabipour, I., Saeedi, R., Ostovar, A., Khorsand, M., Khajehmadi, N., Hayati, R., & Keshtkar, M. (2016). Association of metals (Cd, Fe, As, Ni, Cu, Zn and Mn) with cigarette butts in northern part of the Persian Gulf. *Tobacco Control*, 1–3. <https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2016-052931>
- Dobaradaran, S., Schimidt, T., Lorenzo-Parodi, N., & Jochemann, M. (2019). Cigarette butts: An overlooked source of PAHs in the environment? *Environmental Pollution*, 249, 932–939. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.097>
- European Commission. (2019). Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. *Official Journal of the European Union*, 155, 1–19.
- Gill, H., Rogers, K. J., Rehman, B., & Moynihan, J. (2018). Cigarette butts may have low toxicity to soil-dwelling invertebrates: Evidence from a land snail. *Science of the Total Environment*, 628–629, 556–561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.080>
- Hernandez, C. G. (2018). Cigarette litter leachates: a statistical study of elements in freshwater and saltwater. *UTC Scholar*, 12, 1–39.
- Houba, V. J. G., Temminghoff, E. J. M., Gaikhorst, G. A., & van Vark, W. (2000). Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31, 1299–1396. <https://doi.org/10.1080/00103620009370514>
- International Organization for Standardization. (n.d.). *ISO 11465-1993: Soil quality – Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method* [Qualité du sol – Détermination de la teneur en matière sèche et en eau pondérale – Méthode gravimétrique]. <https://www.iso.org/standard/20886.html>
- Kadir, A., & Sarani, N. (2015). Cigarette butts pollution and environmental impact – a review. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 1106–1110. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1106>
- Koutela, N., Fernandez, E., Suru, M. L., & Psillakis, E. (2020). A comprehensive study on the leaching of metals from heated tobacco sticks and cigarettes in water and natural waters. *Science of the Total Environment*, 714, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136700>
- Lee, W., & Lee, C. C. (2015). Developmental toxicity of cigarette butts – An underdeveloped issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.018>
- Li, Z., & Shuman, M. L. (1997). Mobility of Zn, Cd and Pb in soils as affected by poultry litter extract—II. Redistribution among soil fractions. *Environmental Pollution*, 95(2), 227–234. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(96\)00074-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(96)00074-7)
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2003). *LST EN 12457-4:2003. Atliekų apibūdinimas. Išplovimas. Iš grūdėtų atliekų išplautų medžiagų ir dumblo sudėties atitikties tyrimas. 4 dalis. Vienpakopis partijos (tyrinio) tyrimas, kai skysčio ir kietosios medžiagos, kurios sudėtyje yra labai kietų medžiagų, santykis 10 l/kg ir dalelių dydis mažesnis kaip 10 mm (dydį mažinant arba nemažinant)* [Characterisation of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction)]. Vilnius.
- Lov, A., Larsbo, M., Sjøstedt, C., Cornelis, G., & Gustafsson, J. P. (2019). Evaluating the ability of standardised leaching tests to predict metal(loid) leaching from intact soil columns using size-based elemental fractionation. *Chemosphere*, 222, 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.148>
- Micevska, T., Warne, M. S. J., Pablo, F., & Patra, R. (2006). Variation in, and causes of, toxicity of cigarette butts to a cladoceran and microtox. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(2), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s00244-004-0132-y>
- Mitova, M. I., Campelos, P. B., Goujon-Ginglinger, C. G., Maeder, S., Mottier, N., Rouget, E. G. R. R., Tharin, M., & Tricker, A. R. (2016). Comparison of the impact of the Tobacco Heating System 2.2 and a cigarette on indoor air quality. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 80, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.06.005>
- Moerman, J. W., & Potts, G. E. (2011). Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. *Tobacco Control*, 20, 30–35. <https://doi.org/10.1136/tc.2010.040196>

- Moriwaki, H., Kitajima, S., & Katahira, K. (2009). Waste on the roadside, “poi-sute” waste: its distribution and elution potential of pollutants into environment. *Waste Management*, 29, 1192–1197.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.08.017>
- Mussalo-Rauhamaa, H., Salmela, S. S., Leppänen, A., & Pyy-salo, H. (2010). Cigarettes as a source of same trace and heavy metals and pesticides in man. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 41(1), 49–55.
<https://doi.org/10.1080/00039896.1986.9935765>
- Novotny, T., Lum, K., Smith, E., Wang, V., & Barnes, R. (2009). Cigarettes butts and the case for an environmental policy on hazardous cigarette waste. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6, 1691–1705.
<https://doi.org/10.3390/ijerph6051691>
- Parker, T. T., & Rayburn, J. (2017). A comparison of electronic and traditional cigarette butt leachate on the development of *Xenopus laevis* embryos. *Toxicology Reports*, 4, 77–82.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.01.003>
- Pashapour, S., Mousavi, Z., Ziarati, P., & Ebrahim Najafabadi, K. (2015). Comparison of the level of cadmium and lead between the cigarette filters of different Iranian and non-Iranian brands. *Journal of Toxicology*, 9(29), 1296–1300.
- Pelit, F. O., Demirdogen, R. E., & Henden, E. (2013). Investigation of heavy metal content of Turkish tobacco leaves, cigarette butt, ash, and smoke. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 9471–9479.
<https://doi.org/10.1007/s10661-013-3266-4>
- Quemeneur, M., Chifflet, S., Akrouf, F., Bellaaj-Zouari, A., & Belhassen, M. (2020). Impact of cigarette butts on microbial diversity and dissolved trace metals in coastal marine sediment. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 240(2), 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106785>
- Rath, J. M., Rubenstein, R. A., Curry, L. E., Shank, S. E., & Cartwright, J. C. (2012). Cigarette litter: smokers’ attitudes and behaviors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(6), 2189–2203.
<https://doi.org/10.3390/ijerph9062189>
- Register, K. (2000). Cigarette butts as litter- toxic as well as ugly? *Underwater Naturalist*, 25, 23–29.
- Roder Green, A. L., Putschew, A., & Nehls, T. (2014). Littered cigarette butts as a source of nicotine in urban waters. *Journal of Hydrology*, 519, 3466–3474.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.046>
- Sahuquillo, A., Rigol, A., & Rauret, G. (2002). Comparison of leaching tests for the study of trace metals remobilisation in soils and sediments. *Journal of Environmental Monitoring*, 4(6), 1003–1009. <https://doi.org/10.1039/b206284b>
- Slaughter, E., Gersberg, R. M., Watanabe, K., Rudolph, J., Stransky, C., & Novotny, T. E. (2011). Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tabacco Control*, 20, 25–29.
<https://doi.org/10.1136/tc.2010.040170>
- Smith, M. R., Clark, B., Lüdicke, F., Schaller, J. P., Vanscheuwijck, P., Hoeng, J., & Peitsch, M. C. (2016). Evaluation of the Tobacco Heating System 2.2. Part 1: description of the system and the scientific assessment program. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 81, 17–26.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.07.006>
- van der Sloot, H. A., Heasman, L., & Quevauviller, P. (1997). *Harmonization of leaching/extraction tests*. Elsevier.
- Wallbank, L. A., MacKenzie, R., & Beggs, P. J. (2017). Environmental impacts of tobacco product waste: international and Australian policy responses. *A Journal of the Human Environment*, 46(3), 361–370.
<https://doi.org/10.1007/s13280-016-0851-0>
- Wright, L. S., Rowe, D., Reid, J. M., Thomas, K. V., & Gallo-way, S. T. (2015). Bioaccumulation and biological effects of cigarette litter in marine worms. *Scientific Reports*, 5, 14119.
<https://doi.org/10.1038/srep14119>

RESEARCH OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF CIGARETTE AND TOBACCO STICK FILTERS

M. Dukštaitė, A. Zigmontienė

Summary

Every year, more than 5.5 trillion cigarettes are smoked worldwide, which are disposed of in some way. Due to the smoker’s habit of “dropping the cigarette butt everywhere” – this refuse is one of the most commonly found wastes in the environment worldwide. This waste is not only a visual pollution, but it also causes serious damage to the environment due to the metals accumulated in cigarette filters. The objective of this research is to determine the amount of metals that could be released into the environment from cigarette and heat stick filters. The materials of the research include cigarette filters, heat stick filters and heavy metals (Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn). The experimental research has been performed in the laboratories of the Department of Environmental Protection and Water Management Engineering of the Vilnius Tech in accordance with LST EN 12457-4 standard. As the research has shown, the most leached metal from cigarette filters was cadmium – with 4.577 ± 0.018 mg/kg of cadmium being leached using distilled water. Zinc, manganese and chromium were mainly leached from cigarette filters using CaCl_2 (pH = 6.1) – 3.629 ± 0.016 mg/kg; 2.328 ± 0.005 mg/kg; 0.896 ± 0.000 mg/kg respectively. Copper and lead were mostly leached from the heat sticks filters – 4.272 ± 0.012 mg/kg of copper leached using distilled water; and 1.329 ± 0.004 mg/kg lead using CaCl_2 solution.

Keywords: cigarette filters, heat stick filters, cigarette, heat stick, heavy metals, leaching metals, Cu, Mn, Pb, Cd, Cr, Zn.