



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Mikropluoštų išsiskyrimo iš sintetinių megztinių medžiagų skalavimo metu tyrimas ir vertinimas

Magistro baigiamasis darbas

Ugnė Gliudelytė
Projekto autorė

Prof. Virginija Daukantiene
Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Mikropluoštų išsiskyrimo iš sintetinių megztinių medžiagų skalavimo metu tyrimas ir vertinimas

Magistro baigiamasis projektas
Mados inovacijų technologijos (6211FX023)

Ugnė Gliudelytė

Projekto autorė

Prof. Virginija Daukantiėnė

Vadovė

Doc. Kristina Ancutienė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ugnė Gliudelytė

Mikropluoštų išsiskyrimo iš sintetinių megztinių medžiagų skalavimo metu tyrimas ir vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjusi;
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Ugnė Gliudelytė

Patvirtinta elektroniniu būdu



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: Mados inovacijų technologijos 6211FX023

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Ugnei Gliaudelytei

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

Mikropluoštų išsiskyrimo iš sintetinių megztinių medžiagų skalbimo metu tyrimas ir vertinimas

(Lietuvių kalba)

Investigation and evaluation of the release of microfibers from synthetic knitted fabrics during washing

(Anglų kalba)

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Tikslas — ištirti ir įvertinti poliesterinių megztinių medžiagų skalbimo metu išsiskiriančių pluoštų charakteristikas ir kiekį, taikant nesudėtingą tyrimo metodiką ir rinkos tyrimais pagrįstus skalbimo parametrus.

Uždaviniai:

1. Atlikti vartotojų apklausą ir nustatyti, kaip dažnai ir kokiomis sąlygomis namuose yra skalbiami iš sintetinių medžiagų pagaminti drabužiai.
2. Atlikti mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų skalbimo metu tyrimo metodikų palyginamąją analizę ir pasiūlyti nesudėtingą, laboratorinėmis sąlygomis įgyvendinamą mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų tyrimo ir vertinimo metodiką.
3. Ištirti ir įvertinti poliesterinių ir perdirbtų poliesterinių megztinių medžiagų skalbimo metu išsiskiriančių pluoštų charakteristikas ir kiekį.

Studentas

Ugnė Gliaudelytė

2022 10 10

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Baigiamojo
projekto vadovas

Virginija Daukantienė

2022 10 10

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Gliaudelytė, Ugnė. Mikropluoštų išsiskyrimo iš sintetinių megztinių medžiagų skalbimo metu tyrimas ir vertinimas. Magistro baigiamasis projektas. Vadovė prof. Virginija Daukantienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Technologijų mokslai (F), Polimerų ir tekstilės technologijos (F02).

Reikšminiai žodžiai: sintetiniai mikropluoštai, mikroplastikas, buitinis skalbimas, tekstilė, tvarumas.

Kaunas, 2023. 52 p.

Santrauka

Tekstilinės kilmės mikroplastikų – *sintetinių mikropluoštų*, tarša yra viena aktualiausių ir naujausių aplinkosaugos problemų. Vienas iš pagrindinių sintetinių mikropluoštų šaltinių – skalbiami namuose iš sintetinių pluoštų pagaminti drabužiai. Iki šiol atlikti tyrimai patvirtina, kad skalbimo parametrai: vandens pH, skalbimo vandens temperatūra, skalbimo trukmė ir mechaninis poveikis bei kiti, turi įtakos sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui, tačiau dar nėra šiuos tyrimus reglamentuojančios standartinės metodikos. Taip pat trūksta tyrimų apie vartotojų taikomas skalbimo sąlygas kuomet skalbiami sintetiniai drabužiai.

Projekte buvo atlikta vartotojų apklausa, kuri padėjo nustatyti vartotojų dažniausiai taikomus skalbimo parametrus ir skalbimo įpročius buitinio skalbimo namuose metu, kai skalbiami sintetiniai drabužiai. Remiantis vartotojų apklausos tyrimo rezultatais, kitų mokslinių tyrimų apžvalga bei medžiagų ir drabužių gamintojų rekomenduojamomis priežiūros taisyklėmis, stengiantis laikytis tvaresnių aplinkai sprendimų, buvo sukurta nesudėtinga ir laboratorinėmis sąlygomis įgyvendinama mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų tyrimo ir vertinimo metodika. Tyrimui pasirinktos penkios iš sintetinių pluoštų pagamintos megztinės medžiagos, dažnai taikomos sportinių drabužių gamybai. Ištirti ir įvertinti iš sintetinių megztinių medžiagų skalbimo metu išsiskiriančių sintetinių mikropluoštų kiekiai ir charakteristikos.

Tyrimo rezultatai parodė, kad vartotojai drabužius skalbia dažnai, sintetinių pluoštų drabužius skalbia su kitos pluoštinės sudėties drabužiais ir beveik niekada neskaito gaminių priežiūros etikečių. Dažniausiai skalbiama naudojant skystą skalbiklį ir nenaudojant skalbinių minkštiklio ir skalbiant 30 min arba 60 min 40 °C temperatūros vandenyje. Atlikus išsiskiriančių mikropluoštų analizę, buvo nustatyta, kad jų kiekiai ir charakteristikos labai priklauso nuo medžiagos sudėties ir pluoštų struktūros. Iš poliamido turinčios medžiagos išsiskyrė mažiausi kiekiai mikropluoštų, o didžiausi iš medžiagos sudarytos iš 90% poliesterio/10 % elastano pluoštų. Ilgesni mikropluoštai iš medžiagų išsiskyrė po penktojo skalbimo lyginant su pirmuoju skalbimu.

Gliaudelytė, Ugnė. Investigation and Evaluation of the Release of Microfibers from Synthetic Knitted Fabrics During Washing. Master's Final Degree Project. Supervisor prof. Virginija Daukantienė; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design.

Study field and area (study field group): Technological Sciences (F), Polymers and Textiles Technologies (F02).

Keywords: synthetic microfibers, microplastic, domestic washing, textile, sustainability.

Kaunas, 2023. 52 p.

Summary

Synthetic microfibers – microplastics that originated from textile, and the pollution caused by it, are one of the most pressing and recent environmental problems. One of the main sources of synthetic microfibers is domestic washing of synthetic clothing. Researchers confirm that washing parameters such as water pH, washing temperature, washing time and mechanical impact, influences the release of the synthetic microfibers, but no standard methodology yet exists that can be followed when performing these types of tests. There is also a lack of research on what washing parameters consumers apply during domestic washing.

The project carried out a survey that helped to determine the most common washing parameters and consumer washing habits when washing synthetic clothing at home. Based on the results of the consumer survey, a review of other scientific studies and the maintenance rules recommended by textile fabric and clothing manufacturers, and following more environmentally sustainable solutions, a simple methodology for testing and evaluating the release of microfibers from synthetic fabrics has been developed and implemented. Five knitted fabrics made from synthetic fibers, which are often used for sportswear's production, were selected for this research. The quantities and characteristics of synthetic microfibers, released from synthetic knitted fabrics during washing, were investigated and evaluated.

The results of the study showed that consumers wash their clothes often, rarely read product care labels and wash their synthetic clothes with clothing made of other fibers. Synthetic clothes are usually washed using a liquid detergent and without the fabric softener. Most often synthetic clothes are washed for 30 min or 60 min at 40 °C temperature water. After synthetic microfiber analysis, it was found that microfiber quantities and characteristics are highly dependent on the composition of the fabric and the structure of the fibers. The fabric containing polyamide produced the lowest amounts of microfibers, while the fabric made of 90% polyester/10% elastane produced the highest amounts. The longer microfibers were found after the fifth wash compared to the first wash.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Sintetinių mikropluoštų kilmė ir paplitimas	11
1.2. Sintetinių mikropluoštų keliamą grėsmę	12
1.3. Sintetinių mikropluoštų išsiskyrimo skalbimo metu tyrimų metodikos ir dažniausiai tiriami parametrai	13
1.4. Mikropluoštų išsiskyrimą iš skalbiamų tekstilės gaminių mažinančios priemonės	16
1.5. Apibendrinimas	17
2. Tyrimo metodika	18
2.1. Vartotojų profilio ir įpročių nustatymo metodika	18
2.2. Tyrimo objektų (medžiagų) pasirinkimas ir jų charakteristikos	19
2.3. Bandinių paruošimas skalbimui	20
2.4. Skalbimo ir mikropluoštų išsiskyrimo vertinimo metodika	20
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	27
3.1. Vartotojų apklausos rezultatai ir jų aptarimas	27
3.1.1 Respondento profilis	27
3.1.2 Vartotojų skalbimo namuose įpročiai	28
3.1.3 Vartotojų sintetinių drabužių dėvėjimo ir skalbimo įpročių tyrimo rezultatų apibendrinimas	33
3.3. Išsikyrusių mikropluoštų analizė	37
3.3.1. Kiekybinė analizė	37
3.3.2. Kokybinė analizė	43
Išvados	48
Literatūros šaltiniai	49
Priedai	54
1 priedas. Vartotojų apklausa	54
2 priedas. Metodikų suvestinė	59
3 priedas. Bandinių storis prieš ir po skalbimo ir statistiniai parametrai	61
4 priedas. Sportinės aprangos gamintojo <i>Audimas</i> drabužių priežiūros rekomendacijos	64
5 priedas. Tekstilės medžiagų gamintojų rekomenduojama skalbimo temperatūra	66
7 priedas. Mikropluoštų ilgių vertės ir statistiniai parametrai	70

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Medžiagų charakteristikos	19
2.2 lentelė. Skalbyklės <i>BROCK WM 3001 WH</i> techninės charakteristikos	20
2.3 lentelė. Skalbiklio gamintojo rekomenduojamas skalbiklio kiekis	21
3.1 lentelė. Sportinės aprangos skalbimo dažnumas	27
3.2 lentelė. Apklaustos respondentų namuose naudojamų skalbimo mašinos tipų ir kitų skalbimų būdų pasiskirstymas	28
3.3 lentelė. Minkštiklio naudojimas	32
3.4 lentelė. Sportinės aprangos skalbimas su kitos sudėties drabužiais	33
3.5 lentelė. Dažniausiai namuose taikomų skalbimo parametrų suvestinė	34
3.6 lentelė. Medžiagų SEM analizė prieš skalbimą ir po penktojo skalbimo ciklo	34
3.7 lentelė. Filtrų su ant jų iš M1, M2 ir M3 megztinių medžiagų po 1-ojo ir po 5-ojo skalbimo ciklų išsiskyrusiais mikropluoštais optinio mikroskopo nuotraukos	43
3.8 lentelė. Išsiskyrusių mikropluoštų ilgių vidutinės vertės (l_v)	44

Paveikslų sąrašas

2.1 pav. Skalbimo ir filtravimo metodika	23
2.2 pav. Filtravimo sistema iš šono (a) ir viršaus (b)	24
3.1 pav. Sportavimo dažnumas per savaitę	27
3.2 pav. Respondentų turimų sportinės aprangos kostiumų skaičius	28
3.3 pav. Skalbimo mašinos būgno užpildymas	29
3.4 pav. Skalbimo trukmė	30
3.5 pav. Skalbimo temperatūra	30
3.6 pav. Gręžimo intensyvumas	31
3.7 pav. Skalbiklio tipas	32
3.8 pav. Iš F1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo	37
3.9 pav. Iš M1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo	38
3.10 pav. Iš M2 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo	38
3.11 pav. Iš M3 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo	39
3.12 pav. Iš M4 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo	39
3.13 pav. Po 1-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė	40
3.14 pav. Po 2-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė	40
3.15 pav. Po 3-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė	41
3.16 pav. Po 4-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė	41
3.17 pav. Po 5-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė	42
3.18 pav. Suminė po visų penkių skalbimo ciklų išsiskyrusių mikropluoštų masė	42
3.19 pav. Iš M1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis	45
3.20 pav. Iš M2 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis	45
3.21 pav. Iš M3 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis	46
3.22 pav. Po 1-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių pluoštų ilgis	46
3.23 pav. Po 5-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų ilgis	47

Ivadas

Per paskutiniuosius dešimt metų mikroplastikų tarša susilaukia vis daugiau visuomenės ir mokslininkų dėmesio. Mikroplastikai sunkiai suyra ir jų gyvavimo laikas yra labai ilgas, todėl jie randami netgi mažai žmonių apgyvendintų vietovių pakrantėse, gyvuose organizmuose, o tarp jų, ir žmogaus kūne.

Vienas pagrindinių vandenynuose randamų mikroplastikų šaltinių yra namuose skalbiami, iš sintetinių pluoštų pagaminti drabužiai. Tekstilinės kilmės mikroplastikai yra vadinami sintetiniais mikropluoštais. Į vandenynus ir jų pakrantes sintetiniai mikropluoštai patenka su nuotekomis, susidariusiomis buitinio skalbimo namuose metu. Išsiskyrusios dalelės yra nematomos žmogaus akiai ir sunkiai surenkamos netgi vandenvietėse įrengtų valymo įrenginių. Didelę įtaką sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui daro skalbimo namuose metu taikomi skalbimo parametrai ir žmonių skalbimo įpročiai. Kadangi sintetinės medžiagos skiriasi savo pluoštine sudėtimi ir struktūra, tai taip pat daro įtaką iš jų išsiskyrusiam sintetinių mikropluoštų kiekiui.

Sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą iš tekstilės gaminių analizuojantys tyrimai pradėti pakankamai neseniai, todėl dar nėra sukurta standartizuotų metodikų, kuriomis remiantis būtų atliekami bandymai. Be to, skirtinguose tyrimuose taikomi skirtingi tyrimo metodai neleidžia palyginti skirtingų tyrėjų gautų tyrimų rezultatų. Taip pat, ne visada buvo taikomos vartotojų namuose dažniausiai taikomos skalbimo sąlygos.

Šio projekto **tikslas** yra ištirti ir įvertinti sintetinių megztinių medžiagų skalbimo metu išsiskiriančių pluoštų charakteristikas ir kiekį, taikant nesudėtingą tyrimo metodiką ir rinkos tyrimais pagrįstus skalbimo parametrus.

Tikslui įgyvendinti buvo iškelti tokie **uždaviniai**:

1. atlikti vartotojų apklausą ir nustatyti, kaip dažnai ir kokiomis sąlygomis namuose yra skalbiami iš sintetinių medžiagų pagaminti drabužiai;
2. atlikti mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų skalbimo metu tyrimo metodikų palyginamąją analizę ir pasiūlyti nesudėtingą, laboratorinėmis sąlygomis įgyvendinamą mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų tyrimo ir vertinimo metodiką;
3. ištirti ir įvertinti poliesterinių ir perdirbtų poliesterinių megztinių medžiagų skalbimo metu išsiskiriančių pluoštų charakteristikas ir kiekį

1. Literatūros apžvalga

Literatūros apžvalgoje pateikta sintetinių mikropluoštų kilmė, paplitimas, jų keliami grėsmė bei apžvelgti per paskutinius dešimt metų taikyti tyrimo metodai, apžvelgti sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą į aplinką skatinantys veiksniai.

1.1. Sintetinių mikropluoštų kilmė ir paplitimas

Pirmosios, į plastiką panašios sintetinės medžiagos buvo sukurtos dar devynioliktajame amžiuje [1], tačiau komercinės sėkmės plastiko, tuomet labiau žinomo kaip bakelito, termoreaktingojo plastiko, pagaminto iš rezolinės fenolformaldehidinės dervos, ir pavadinto pagal Jungtinių Amerikos Valstijų chemiko Leo Hendrik Baekeland'o pavardę [2], gaminiai sulaukė tik 1907-aisiais metais. Netrukus, eksperimentuojant su bakelito chemine sudėtimi, buvo masiškai pradėti gaminti ir pirmieji iš jo pagaminti drabužiai, o tokia tekstilės gaminiams skirta medžiaga buvo pradėta vadinti poliesteriu [3]. Šiuo metu mados ir tekstilės pramonėje poliesteriniai pluoštai, bei kiti sintetiniai pluoštai tokie, kaip poliamidinis ar akrilinis, yra naudojami dažnai ir nieko nestebina. Tačiau praeito amžiaus viduryje pirmą kartą drabužių gamyboje panaudoti poliesteriniai pluoštai buvo apibūdinami kaip stebuklingi, nes iš jų pagamintus drabužius, dėl didelio medžiagų neglamžumo ir ilgaamžiškumo bei greito džiūvimo, buvo lengva prižiūrėti, o tai leido vartotojams sutaupyti ne tik laiko, bet ir pinigų [4]. Ir nors dėl mažesnės nei natūralių medžiagų kainos, poliesterinių pluoštų medžiagos tapo populiarios drabužių gamyboje, vartotojai greitai pastebėjo, kad sintetinės medžiagos turėjo ir neigiamų savybių – jos buvo nepralaidžios orui ir pasižymėjo maža skysčių absorbcija. Dėl šių priežasčių 1980-aisiais metais poliesterinių pluoštų gamybos metodai buvo atnaujinti, sintetiniai pluoštai pradėti maišyti su natūraliais. Nors iš poliesterinių medžiagų pagaminti drabužiai vis dar buvo nepralaidūs orui, tačiau vizualiai jie nelabai skyrėsi nuo gaminių, pagamintų iš natūralių medžiagų [5]. Nuo tada drabužių, pagamintų iš poliesterio ir kitų sintetinių medžiagų, gamyba ir vartojimas tik augo [6].

Sintetinių medžiagų, tokių kaip poliesterinių, poliamidinių, akrilinių ir kitų, atsiradimas stipriai pakeitė ne tik drabužių gamybą, tačiau ir jų vartojimo kultūrą. Drabužiai tapo daug pigesni, buvo perkami dažniau ir daug didesniais kiekiais, jų dėvėjimo laikas sutrumpėjo. Toks sintetinių medžiagų naudojimo populiarumas buvo ir viena iš greitosios mados atsiradimo priežasčių. Ilgainiui sintetinių medžiagų ilgaamžiškumas vartotojams įsigyjant drabužius tapo nesvarbus. Pigesni drabužiai ir greitai besikeičiančios aprangos mados tendencijos vartotojus skatino greičiau atsisakyti jau turimų drabužių. Tokia vartotojų elgsena pradėjo kelti dideles aplinkosaugines problemas, nes iš sintetinių medžiagų pagaminti drabužiai dažnai patenka į sąvartynus, kadangi, pavyzdžiui, poliesterio pluoštai, o ypačiai – su juo sumaišyti pluoštai, yra sunkiai perdirbami [7]. Natūralus poliesterinių bei kitų sintetinių medžiagų suirimo procesas yra labai ilgas [8], o tai reiškia, kad pirmieji, dar dvidešimtojo amžiaus pradžioje iš poliesterinių medžiagų pagaminti gaminiai gali būti dar nevisiškai suirę iki šių dienų.

Nors apie plastiko ir jo gaminių sukeltas ekologines problemas kalbama jau palyginti seniai, *mikroplastikų* (< 1 mm plastiko dalelių) keliami tarša buvo pastebėta tik šio amžiaus pradžioje [9].

Richard C. Thompson'o ir kt. [9] tyrimas buvo pirmasis, kuriame oficialiai buvo panaudotas terminas *mikroplastikai*. Tyrimo metu buvo renkamos nuosėdos iš Plimuto (Jungtinė Karalystė) paplūdimių ir estuarijų. Dalelės, kurios savo išvaizda skyrėsi nuo natūralių, buvo atskirtos ir ištirtos infraraudonųjų spindulių spektrometru. Net trečdalis šių dalelių buvo sintetiniai polimerai. Ir nors Richard C. Thompson'as ir kt. [9] neskyrė didelio dėmesio polimerų kilmei nustatyti, gauti tyrimų rezultatai patvirtino, kad dauguma jų yra dažnai naudojami mados pramonėje. Dar po šešerių metų, remiantis Richard C. Thompson'o ir kt. [9] tyrimu ir jų taikyta tyrimo metodika, ekologas M. A. Browne'as ir kt. [10] ištyrė nuosėdų dalelių, surinktų net iš aštuoniolikos šešių skirtingų žemynų vandenynų pakrančių, kilmę. Pakrantėse surinktos nuosėdos buvo perfiltruotos naudojant natrio chlorido tirpalą ir ištirtos po infraraudonųjų spindulių spektrometru. Kitos mikroplastikų dalelės buvo surinktos iš jūrų uostuose ir gyvenamosiose teritorijose esančių nuotekų valymo įrenginių bei filtruojant buitinio skalbimo nuotekas. Visose aplinkose rastos mikrodalelės buvo palygintos tarpusavyje. Tyrimo rezultatai patvirtino, kad visų rastų dalelių sudėtis ir morfologija buvo panaši. Dažniausiai pasitaikantys buvo tekstilinės kilmės mikroplastikai (*mikropluoštai*). Sintetiniai mikropluoštai, pvz., akriliniai, poliesteriniai ir pan., buvo geriausiai atpažįstami dėl savo ryškių spalvų, o didžiąją jų dalį sudarė poliesteriniai mikropluoštai. Didžiausi mikropluoštų kiekiai buvo randami tankiausiai apgyvendintose vietovėse, o sintetiniai mikropluoštai buvo randami netgi nuotekų įrenginiuose, kurie nebuvo naudojami dešimtmetį.

1.2. Sintetinių mikropluoštų keliamą grėsmę

M. A. Browne'o ir kt. [10] tyrimas įrodė, kad vandenynuose ir jų pakrantėse randami mikroplastikai yra tekstilinės kilmės, todėl šie tyrimų rezultatai sulaukė daug dėmesio, o pats straipsnis dažnai yra cituojamas ir minimas, kai kalbama apie mikroplastikus ir jų sukiamą taršą. Supratę temos aktualumą ir naujumą, įvairūs naujienų portalai [11], populiarinio mokslo [12] ir netgi mados žurnalai [13] pradėjo skelbti informaciją apie sintetinių mikropluoštų keliamą gamtosauginį pavojų bei galimą žalą žmogaus sveikatai. Kadangi šie naujienų šaltiniai greitai pasiekia vartotoją, natūralu, kad susidomėjimas ir susirūpinimas sintetinių mikropluoštų keliamomis problemomis didėja iki pat šių dienų.

Tyrimo rezultatais susidomėjo ir kiti mokslininkai. Dauguma jų stengėsi patikrinti M. A. Browne'o ir kt. [10] paskelbtus rezultatus bei ištirti, kokie skalbimo parametrai daro įtaką sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui [27, 28, 31, 40]. Dažniausiai tokių tyrimų metu buvo tiriama skalbimo temperatūros, skalbimo trukmės bei skalbiklių daroma įtaka mikropluoštų išsiskyrimui iš sintetinių medžiagų, o pagrindinis tyrimų objektas buvo po buitinio skalbimo namuose išsiskyręs nuotekų vanduo. Kadangi M. A. Browne'o ir kt. [10] tyrimas buvo labai platus ir su daugybe kintamųjų, jo metu buvo iškelta ir daug naujų problemų bei rekomendacijų ateities tyrimams. Kitų mokslininkų tyrimų metu kintamųjų skaičius buvo sumažintas ir tyrimai buvo daug siauresni ir konkretesni.

Įvairių tyrimų metu buvo skalbiamos skirtingos medžiagos, naudojamos skirtingos skalbimo mašinos ir skalbikliai bei keičiami skalbimo trukmės ir temperatūros parametrai, tačiau visų jų metu galiausiai buvo patvirtinta, kad mikropluoštai išsiskiria skalbimo namuose metu [14–16]. Svarbu paminėti, kad kai kuriuose tyrimuose buvo pastebėta, jog natūralios medžiagos, pvz., sudarytos iš medvilnės, vilnos, šilko ir kitų pluoštų, yra labiau linkę išskirti mikropluoštus nei sintetinės medžiagos, tačiau natūralios kilmės mikropluoštams retai kada skiriamas didesnis dėmesys, kadangi

jie yra bioskaidūs ir išsiskyrę į aplinką gana greitai suyra [17]. Sintetiniai mikropluoštai, išsiskyrę iš tokių sintetinių pluoštų kaip poliesterinis, poliamidinis, akrilinis ir pan., pasižymi dideliu ilgaamžiškumu. Nors skirtingų polimerų irimo laikas priklauso nuo kiekvieno polimero struktūros, aplinkos, į kurią patenka dalelės, ir kitų veiksnių, įprastai, vienai sintetinio mikropluošto dalelei suirti gali reikėti kelių mėnesių, o jeigu dalelė nėra aktyviai veikiama mechaninių, biologinių ar cheminių veiksnių, irimo procesas gali užtrukti dar ilgiau [18].

Dėl didelio atsparumo natūraliems irimo procesams, sintetiniai mikropluoštai kartu su nuotekomis patekę į vandens telkinius pasiekia netgi atokiausias ir mažai žmonių apgyvendintas vietas, tokias kaip Arktis [19]. Sintetinės tekstilinės kilmės mikrodalelės yra randamos ir gėlo vandens telkiniuose [20], kurie daugelyje šalių yra pagrindinis geriamojo vandens šaltinis. Nors ir yra stengiamasi vandenį išvalyti nuo visų kietųjų dalelių, vandenvietėse įrengti vandens valymo įrenginiai nėra tiesiogiai pritaikyti vandens valymui nuo mikroplastikų, kurie dažniausiai yra tiesiog per smulkūs [21]. Dėl šios priežasties, kyla didelė grėsmė, kad per geriamąjį vandenį sintetiniai mikropluoštai gali lengvai patekti ir į žmogaus organizmą. Ne tekstilinės kilmės mikroplastikų žmogaus kūne jau buvo rasta. Naujausi tyrimai patvirtina, kad mikroplastikai yra randami žmogaus kraujyje [22], motinos piene [23] ir netgi placentoje [24], tačiau dar nėra visiškai aišku, kokią žalą jos sukelia. Pasak Heather A. Leslie, et al. [22], mikroplastikų dalelės gali sutrikdyti organizmo autoimuninės sistemos darbą, tačiau tam patvirtinti reikėtų atlikti daugiau tyrimų.

Sintetinių mikropluoštų tarša yra mažiausiai ištirta požeminio vandens šaltiniuose. Požeminio vandens apytakos ciklas yra daug ilgesnis nei paviršinio vandens, dažnai užtrunkantis tūkstančius metų. Be to, požeminis vanduo yra natūraliai filtruojamas per uolienu mikroporas. Dėl šių priežasčių galima daryti prielaidas, kad požeminio vandens tarša, jeigu ir egzistuoja, yra daug mažesnė nei vandens, esančio paviršiniuose telkiniuose, tačiau tam įrodyti turėtų būti atlikti išsamesni tyrimai.

1.3. Sintetinių mikropluoštų išsiskyrimo skalbimo metu tyrimų metodikos ir dažniausiai tiriami parametrai

Nors per pakankamai trumpą laikotarpį ir buvo atlikta nemažai tyrimų, kurių metu yra tiriami sintetiniai mikropluoštai bei jų išsiskyrimas skalbimo namuose metu, dar nėra standartinių metodikų, kuriomis remiantis būtų atliekami skalbimo parametrų daromos įtakos mikropluoštų išsiskyrimui tyrimai, todėl skirtinguose tyrimuose dažnai naudojami skirtingi tyrimo metodai. Greičiausiai, dėl standartinės metodikos nebuvimo bei skirtingų vertinamų parametrų, kai kurių tyrimų rezultatai neženkliai skiriasi, todėl juos yra sunku palyginti tarpusavyje ir išskirti didžiausią įtaką mikropluoštų išsiskyrimui turinčius veiksnius.

2016 metais Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson'o [15] paskelbtas straipsnis buvo vienas pirmųjų, kuriame buvo išsamiai aprašytas tyrimas, analizuojantis tekstilės mikropluoštų išsiskyrimą skalbimo namuose metu, todėl jis dažnai cituojamas kituose šaltiniuose, o kitų mokslininkų taikytos metodikos yra dažnai paremtos jų sukurtu tyrimo metodu. Mokslininkų Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson'o atliktame tyrime [15] buvo tiriama medžiagos sudėties, vandens pH (naudojamų skalbiklių ir minkštiklių) ir temperatūros daroma įtaka mikropluoštų išsiskyrimui. Buvo skalbiami 20 cm x 20 cm dydžio bandiniai, iškirpti iš parduotuvėje įsigytų džemperių (a. 100 %

poliesterinės medžiagos; b. 100 % akrilinės medžiagos; c. 65 % poliesterio / 35 % medvilnės medžiagos). Visi džemperiai buvo tikslingai pasirinkti skirtingų spalvų, kad vėliau, mikropluoštus tiriant po mikroskopu, juos būtų galima lengviau atskirti. Vis dėlto, remiantis visai neseniai paskelbtu Marielis C. Zambrano, ir kt. straipsniu [25], kuriame buvo įrodyta, kad medžiagų dažymas ir apdaila daro įtaką mikropluoštų išsiskyrimui, todėl galima kelti prielaidą, kad Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson tyrimo rezultatai galėjo būti ne visai tikslūs, ir tikslesni rezultatai būtų gaunami skalbiant tais pačiais dažais dažytus arba visai nedažytus bandinius. Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson'o [15] tyrime naudotų bandinių kraštai buvo apsiūti medvilniniais siūlais, kurie skalbiant taip pat galėjo išskirti mikropluoštus. Kai kuriuose vėlesniuose tyrimuose mokslininkai pasirinkdavo skalbti bandinius, išpjautus lazeriu [16, 26–27], arba bandinius su suklijuotais kraštais [28], taip išvengiant papildomo mikropluoštų išsiskyrimo iš apsiuvimui naudojamų siūlų ar kirptų medžiagos kraštų. Be to, šių mokslininkų tyrimui pasirinktas bandinių dydis nebuvo standartinis ar pagrįstas aiškiais argumentais. Vėlesniuose tyrimuose naudotų bandinių dydžiai labai skiriasi: nuo 4 cm x 4 cm laboratorijose iškirptų bandinių [29] iki įvairaus dydžio, parduotuvėse nupirktų jau pasiūtų aprangos gaminių [14, 30, 31]. Bandinių dydžių pasirinkimas yra grindžiamas skirtingais su skalbimu susijusių tyrimų standartais, taikomais įvairiose šalyse [16, 26], arba bandymais imituoti skalbimo namuose sąlygas [30, 31].

Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson'o [15] tyrime neskirtas didelis dėmesys skalbinių ir skalbimo vandens santykiui. Tyrimui atlikti buvo pasirinkta iš šono pakraunama skalbimo mašina (*Whirlpool WWDC6400*), kuri sunaudoja 50 l vandens vieno skalbimo metu, o rekomenduojama skalbinių masė vieno skalbimo metu yra 6 kg [32]. Kadangi šio tyrimo metu buvo skalbiami tik mažo dydžio bandiniai (20 cm x 20 cm), vandens ir skalbinių santykis buvo daug didesnis už rekomenduojamą gamintojo. Visų pirma, toks pasirinkimas nėra tvarus aplinkai, be to, visi vėliau atlikti tyrimai, kurių metu buvo tiriama vandens ir skalbinių santykio įtaka sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui, patvirtino, kad jis yra tiesiogiai proporcingas išsiskyrusių sintetinių mikropluoštų kiekiui [27, 33–35], dėl padidėjusios mechaninės trinties tarp pluoštų. Kadangi šio tyrimo metu buvo išlaikytas panašus vandens ir skalbinių santykis visų bandymų metu, jo daroma įtaka nėra aktuali tyrimo metu gautiems rezultatams, tačiau, jie negalėtų būti lyginami su rezultatais, gautais tyrimuose, kuriuose buvo parenkamas kitas skalbinių ir vandens santykis. Taip pat svarbu paminėti, kad išsiskyrę didesni mikropluoštų kiekiai pradeda kauptis, jie gali užkimšti filtrus, yra sunkiau ištiriami po mikroskopu, o tai gali pakenkti tyrimo eigai. Tai buvo pastebėta ir kitų autorių darbuose [30, 36]. Tokią riziką ypatingai padidina ir tai, kad šio tyrimo metu per filtrus buvo filtruotas visas skalbimui naudotas vanduo, o kartu su juo ir visi išsiskyrę mikropluoštai. Norint efektyviau atlikti bandymus, reikėtų tiksliai apskaičiuoti gamintojo rekomenduojamą vandens ir skalbinių santykį, bei nuspręsti, ar lyginant rezultatus bus aktualus visas skalbimo metu išsiskyrusių mikropluoštų kiekis. Kai kuriuose kituose moksliniuose tyrimuose buvo filtruojamas ne visas skalbimo metu sunaudotas vanduo [30, 36], tačiau vis dar dažni tyrimai, kurių metu filtruojamas visas vanduo [14, 15, 25, 31]. Tiesa, išsiskyrusių mikropluoštų kaupimąsi galima sumažinti filtravimui naudojant keletą filtrų su skirtingo dydžio akutėmis, kas ir buvo padaryta kai kuriuose tyrimuose [14, 33, 43].

Vandens ir skalbinių santykis priklauso ir nuo naudojamos skalbimo mašinos tipo. Yra atlikti tyrimai, kurių metu buvo lyginamas išsiskyrusių mikropluoštų kiekis, naudojant iš viršaus ir iš šono pakraunamas skalbimo mašinas [30, 37–39]. Iš viršaus pakraunamos skalbimo mašinos yra

dažniausiai naudojamos Šiaurės Amerikos žemyne, o Europoje populiareesnės iš šono pakraunamos skalbyklės, todėl, kai kuriais atvejais, tokie tyrimai buvo atlikti imituojant ir lyginant šiuose žemynuose labiausiai paplitusius skalbimo būdus [37]. Atlikti tyrimai patvirtino, kad didesni mikropluoštų kiekiai išsiskiria naudojant iš viršaus pakraunamas skalbimo mašinas todėl, kad tokio tipo skalbyklės yra didesnio tūrio, sunaudoja daugiau vandens ir jose skalbinių ir vandens santykis būna šiek tiek didesnis nei skalbimo mašinose, kurios yra pakraunamos iš šono.

Analizuotuose tyrimuose [14–15, 25, 27, 42] bandinių skalbimo ciklų skaičius skiriasi, tačiau, kaip buvo pažymėta kai kuriuose tyrimuose, išsiskyrusių mikropluoštų skaičius tarp ketvirtojo ir penktojo skalbimo daugeliui medžiagų skiriasi nežymiai, todėl galima teigti, kad po ketvirtojo skalbimo išsiskiriančių sintetinių mikropluoštų kiekis stabilizuojasi.

Tiriant skalbimo metu išsiskiriančius mikropluoštus labai svarbu pasirinkti ir tam tinkamus filtrus. Nors įvairiuose tyrimuose skiriasi tiek naudojamų filtrų akučių dydžiai, tiek jų skaičius filtro plote (tankumas) ir medžiaga, iš kurios pagaminti filtrai, atlikus tyrimų apžvalgą, galima pastebėti dažniausiai pasikartojančias tendencijas. Dažniausiai naudojami filtrai, kurių akučių dydis yra 400–450 μm , 20–25 μm arba 5 μm . Filtrai su 400–450 μm dydžio akutėmis, greičiausiai, buvo pasirenkami tik todėl, kaip yra paminėta keliuose moksliniuose tyrimuose, kad tokie filtrai yra integruoti skalbimo mašinose [40–41]. Kai kuriuose tyrimuose naudojami stikliniai [26], nerūdijančio plieno [31, 41–42], sintetiniai poliamidiniai [36] ar nailoniniai [33, 38] bei polikarbonatiniai [40] filtrai, bet dažniausiai filtravimui buvo pasirenkamas filtrinis popierius [15–16, 27, 37, 44–45], kurio akučių skersmuo siekia ~ 20 μm arba 5 μm . Po filtravimo filtrai yra džiovinami, tačiau jų džiovinimo sąlygos visuose tyrimuose taip pat skiriasi. Kai kuriuose tyrimuose filtrai buvo džiovinami parą laiko kambario temperatūroje [31, 39, 47], o kituose tyrimuose jie buvo džiovinami tik keletą valandų aukštos temperatūros aplinkoje [33, 36, 41, 45–46].

Tyrimams pasirinkus filtrinį popierių, išsiskyrusių mikropluoštų kiekį galima ne tik nustatyti sveriant filtrus prieš ir po filtravimo, kas buvo daroma beveik visuose minėtuose tyrimuose, tačiau galima ir išsamiau ištirti jų morfologiją, atliekant SEM analizę [28, 30–31, 39, 46] ar naudojant kitą laboratorinę įrangą. Kai kuriuose tyrimuose filtrai su ant jais esančiais mikropluoštais buvo nufotografuoti ir ištirti su tam skirta programine įranga, pvz., *ImageJ* [47], *FiberApp* [16, 47] ar *DigiEye* [27].

Kaip jau buvo minėta, Imogen E. Napper ir Richard C. Thompson'o [15] atlikto tyrimo metu didžiausias dėmesys buvo skirtas skalbimo metu naudojamų skalbiklių ir minkštiklių daromos įtakos mikropluoštų išsiskyrimui vertinimui. Mokslininkai skalbimus atliko su skystu skalbikliu, skystu bio-skaidžiu skalbikliu bei juos pakartojo naudodami minkštiklį. Palyginus gautus rezultatus nustatyta, kad visi gaminiai išskyrė daugiau mikropluoštų, kai buvo naudojamas įprastas skalbiklis kartu su minkštikliu, ir mažiausiai mikropluoštų, kai buvo naudojamas tik bio-skaidus skalbiklis. Kadangi tyrimo metu nebuvo pastebėta reikšminga naudojamo minkštiklio įtaka, buvo pasiūlyta atlikti daugiau tyrimų, bei pateikta hipotezė, kad naudojamas minkštiklis turėtų sumažintų trintį tarp pluoštų, tai yra, sumažinti mechaninį poveikį, ir taip iš gaminių išsiskirtų mažiau mikropluoštų. Vėliau F. De Falco et al. [46] atliktame tyrime ši hipotezė buvo patvirtinta.

Kai kuriuose kituose tyrimuose taip pat buvo įrodyta, kad naudojant skalbiklius išsiskiria daugiau mikropluoštų nei skalbiant tik vandeniu [29, 31, 46] ir tai buvo paaiškinama tuo, kad naudojant skalbiklius, padidėja vandens pH. Tačiau yra ir tyrimų, kurie tokius rezultatus paneigia, nes jų metu, skalbiant tik vandeniu ir skalbiant su skalbikliais, daugiau mikropluoštų išsiskyrė tuomet, kai buvo naudojamas tik vanduo [41], arba skalbiklio daroma įtaka išvis nebuvo pastebėta [27, 33, 42].

Tyrimuose, kuriuose buvo tiriama skalbiklio daroma įtaka mikropluoštų išsiskyrimui, dažnai buvo tiriamos kelios skalbiklių rūšys ir jų įtaka išsiskyrusių mikropluoštų kiekiui [22, 31]. Tiek P. Periyasamy'o [31], tiek ir F. De Falco ir kt. [22] tyrimuose buvo pastebėta, kad naudojant miltelių pavidalo skalbiklius, išsiskiria didesnis mikropluoštų kiekis. Abiejuose tyrimuose autoriai teigia, kad tai galėjo nutikti dėl miltelių sukeltos trinties tarp pluoštų, tačiau F. De Falco ir kt. [22] taip pat pabrėžia, jog miltelių pavidalo skalbikliai dažniausiai turi didesnę pH nei skysti skalbikliai, ir kad didesnę išsiskyrusių mikropluoštų kiekį sukelia ne miltelių sukeltas mechaninis poveikis, tačiau didesnis vandens pH.

Mechaninio poveikio daroma įtaka sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui turėtų būti ištirta plačiau, nes, nors ir yra tyrimų, teigiančių, kad didesnis mikropluoštų kiekis išsiskiria tuomet, kai tiriamos medžiagos patiria didesnę trintį [22, 31, 33–35], kai kurie atlikti tyrimai tai paneigia [16].

Visuose tyrimuose, kuriuose buvo tiriama vandens temperatūros ir skalbimo trukmės įtaka išsiskyrusių mikropluoštų kiekiui, buvo pastebėta tiesioginė koreliacija tarp šių veiksnių ir mikropluoštų išsiskyrimo, tai yra, skalbiant aukštesnės temperatūros vandenyje arba skalbiant ilgiau, išsiskiria didesnis mikropluoštų kiekis [27, 28, 31, 39, 44]. I. E. Napper ir R. C. Thompson'as [15] tai paaiškino tuo, kad ilgiau vandenyje ir aukštesnėje temperatūroje pabuvę tekstilės pluoštai susilpnėja – mažėja jų lenkiamasis standis, ir dėl to nuo jų lengviau atsiskiria mikropluoštai. Be to, kai kuriuose tyrimuose buvo patvirtina, kad šaltas, tiesiai iš vandentiekio sistemos tiekiamas ir nešildomas vanduo yra tinkamas išskalbti lengvai suteptus drabužius [37], todėl aukšta skalbimo temperatūra ne visada yra būtina.

1.4. Mikropluoštų išsiskyrimą iš skalbiamų tekstilės gaminių mažinančios priemonės

Pastebėjus aplinkos taršos sintetiniais mikropluoštais problemas, buvo pradėtos kurti įvairios priemonės, skirtos sumažinti mikropluoštų, patenkančių į nuotekų sistemas, kiekį. Kai kurios jų yra naudojamos jas įdedant į skalbimo mašinos būgną, kitos, pvz., papildomi filtrai, yra tvirtinami skalbimo mašinos išorėje.

GUPPYFRIEND [48] yra skalbimui skirtas maišelis, kurio visos detalės (tinklelis, užtrauktukas ir siūlės) yra pagamintos iš poliesterinių, vienagijų (*angl. monofilament*) siūlų, kurie yra stipresni ir, pasak gamintojų, visiškai neišskiria sintetinių mikropluoštų skalbimo metu. Prieš skalbimą drabužiai yra sudedami į *GUPPYFRIEND* maišelį ir tik tada dedami į skalbimo mašinos būgną. Skalbimo metu išsiskyrę mikropluoštai lieka maišelyje ir nepatenka į nuotekų vandenį. Gamintojai taip pat teigia, kad maišelyje esantys drabužiai patiria mažesnę trintį tarpusavyje ir tarp mašinos būgno, todėl pluoštai patiria mažesnę mechaninę poveikį ir nelūžinėja. Skalbimo rutuliai *Cora Ball* [49], kaip ir *GUPPYFRIEND* skalbimo maišelis, yra dedamas tiesiai į skalbimo mašinos būgną. Gamintojų puslapyje yra teigiama, kad *Cora Ball* yra pagamintas iš perdirbtų medžiagų, tačiau gamintojai nepatiksina tikslios jo sudėties. Smulkios mikropluoštų dalelės susikaupia ir prilimpa

prie skalbimo rutulių *Cora Ball*. Vėliau surinktus mikropluoštus galima nuimti nuo skalbimo rutulio ir jį naudoti kitiems skalbimams. Pasak gamintojų, *Cora Ball* ne tik surenka mikropluoštus, bet ir mažina jų išsiskyrimą, tačiau plačiau šios gaminio veikimo funkcijos nepaaiškina.

Lint Luv-R [50], *XFiltra* [51] ir *PlanetCare* [52] yra skalbimo mašinos išorėje tvirtinami filtrai. Per juos yra filtruojamas skalbimo metu išsiskyres nuotekų vanduo, taigi, yra jau surenkami išsiskyre mikropluoštai, tačiau patys filtrai nemažina mikropluoštų išsiskyrimo.

Iš visų paminėtų priemonių, skirtų surinkti išsiskyrusius mikropluoštus, vieninteliame *PlanetCare* gamintojų puslapyje yra siūloma po skalbimų atsiųsti filtrą atgal gamintojams, kur jis būtų išvalytas, o surinkti mikropluoštai surinkti perdirbimui. Kitų minėtų priemonių, skirtų sumažinti išsiskiriančių mikropluoštų kiekį, gamintojai nesiūlo mikropluoštų perdirbimo paslaugos. Tai reiškia, kad mikropluoštų utilizavimas liktų vartotojo problema, todėl yra tikimybė, kad mikropluoštai būtų išmetami kartu su buitinėmis atliekomis. Tokiu atveju, mikropluoštų keliama tarša nesumažėtų.

Keliuose moksliniuose straipsniuose buvo aprašyti ir tyrimai, kurių metu buvo tiriamos jau išvardintos priemonės, skirtos surinkti arba sumažinti išsiskiriančių mikropluoštų kiekį. N. Kärkkäinen ir M. Sillanpää's [53] atliko tyrimus, kurių metu buvo skalbiama naudojant *GUPPYFRIEND* skalbimo maišelius ir *Cora Ball* skalbimo rutulius. Tyrimai patvirtino, kad priemonės yra veiksmingos ir sumažina mikropluoštų patekimą į nuotekas. *GUPPYFRIEND* „sugavo“ 39%, o *Cora Ball* 10% išsiskyrusių mikropluoštų. Hayley K. Mcilwraith ir kt. [54] tyrė *Cora Ball* ir *Lint LUV-R* efektyvumą. Abi technologijos sumažino išsiskyrusių mikropluoštų kiekį, *Cora Ball* surinko 26%, o *Lint LUV-R* filtras 86% išsiskyrusių mikropluoštų. Imogen E. Napper, Aaron C. Barrett'o ir Richard C. Thompson'o [55] atliktame tyrime buvo įvertinta priemonių: *GUPPYFRIEND*, *Cora Ball*, *Lint LUV-R*, *XFiltra* ir *PlanetCare* bei prototipinio *FourthElement* skalbimui skirto maišelio (gaminys dar nėra komercializuotas) įtaka mikropluoštų išsiskyrimui. Rezultatai atskleidė, kad *XFiltra* išorėje montuojamas įrenginys buvo efektyviausias surenkant išsiskyrusius mikropluoštus. Bandymų metu taip pat buvo pastebėta, kad mikropluoštų surinkimas iš visų tirtų įrenginių nėra patogus, todėl *PlanetCare* filtras yra labiausiai pritaikytas vartotojui.

1.5. Apibendrinimas

Sintetinių mikropluoštų išsiskyrimas ir jų patekimas į aplinką yra svarbi ir aktuali tema, tačiau dar trūksta tyrimų, kurie išsamiai paaiškintų mikropluoštų išsiskyrimo iš skalbiamų sintetinių tekstilės medžiagų mechanizmą. Iki šiol atlikti tyrimai patvirtina, kad skalbimo parametrai: vandens pH, skalbimo vandens temperatūra, skalbimo trukmė, mechaninis poveikis ir kiti turi įtakos sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui, tačiau dar nėra šiuos tyrimus reglamentuojančios standartinės metodikos. Be to, iki šiol atliktuose tyrimuose buvo imituojami skirtingi buitinio skalbimo procesai, tačiau ne visada buvo parenkami dažniausiai vartotojų namuose taikomi skalbimo parametrai. Norint pagrįsti kitų tyrėjų atliktų tyrimų aktualumą ir juos toliau vystyti, yra svarbu atlikti vartotojų apklausą ir sužinoti, kokie skalbimo parametrai yra dažniausiai taikomi skalbimo namuose metu. Taip pat svarbu nustatyti, ar skirtingos pluoštinės sudėties ir struktūros medžiagos išskiria vienodą mikropluoštų kiekį. Priemonės, mažinančios mikropluoštų patekimą į aplinką, egzistuoja, tačiau ne visos komerciškai pasiekiamos prevencinės priemonės aiškiai apibrėžia, kaip surinkti išsiskyre sintetiniai mikropluoštai turėtų būti utilizuojami.

2. Tyrimo metodika

Šioje magistro baigiamojo projekto dalyje pateiktos sukurtos vartotojų profilio ir įpročių nustatymo bei skalbimo ir mikropluoštų išsiskyrimo vertinimo metodikos. Pristatytas tyrimo objektų (medžiagų) pasirinkimo pagrindimas, nurodytos tirtų medžiagų charakteristikos bei aprašytas bandinių, naudotų skalbimo procese, paruošimas.

2.1. Vartotojų profilio ir įpročių nustatymo metodika

Iki šiol atliktuose tyrimuose ne visada buvo parenkami dažniausiai vartotojų namuose taikomi skalbimo parametrai, todėl, projekte buvo atlikta kiekybinė vartotojų apklausa, kurioje buvo klausama apie skalbimo įpročius ir taikomus skalbimo parametrus skalbimo namuose metu.

Anketinė apklausa buvo sukurta naudojantis *Google Forms* įrankiu ir paskelbta socialiniuose tinkluose (*Facebook, Instagram, Reddit, LinkedIn*). Ją sudarė 16 uždarų ir atvirų klausimų [1 priedas]. Apklausa buvo vykdoma anketos forma ir paskelbta internete, nes taip buvo tikimasi pasiekti platesnę auditoriją. Asmens duomenys ir kontaktinė informacija nebuvo renkami, taip siekiant išlaikyti respondentų anonimiškumą ir norint gauti, kaip galima, objektyvesnius atsakymus. Pateiktais klausimais buvo siekiama sužinoti, ar apklaustieji dėvi iš sintetinių pluoštų pagamintus drabužius, kaip dažnai juos skalbia, kokį skalbimo būdą renkasi, kokius skalbimo parametrus dažniausiai taiko ir kokias skalbimo priemones naudoja.

Drabužiai, skirti aktyviam laisvalaikiui ir sportui, dažniausiai yra pagaminti iš sintetinių pluoštų dėl jų gerų laidumo vandens garams, orui, tamprumo, neglamžumo ir kitų savybių. Dėl šios priežasties, anketos įžangoje respondentai buvo trumpai supažindinti su sintetinių pluoštų pavyzdžiais, klausimų formuluotėse buvo pabrėžiama gaminių, apie kurių skalbimą klausiama, sudėtis, o pirmuosiuose klausimuose buvo klausiama, ar respondentai turi iš sintetinių pluoštų pagamintų drabužių ir ar jie sportuoja. Respondentai, kurie pripažino nesportuojantys, į klausimą galėjo atsakinėti toliau, tačiau klausimų formuluotėse buvo pabrėžiama, kad klausimai yra klausiami apie iš sintetinių pluoštų pagamintą aprangą. Taip buvo bandoma užtikrinti, kad klausimus atsakinės tik tie vartotojai, kurie skalbia iš sintetinių pluoštų pagamintus drabužius. Klausimai apklausai buvo sudaryti remiantis atlikta metodikų apžvalga (2 priedas).

Tikslinei tyrimo populiacijai nustatyti buvo pasirinkta netikimybinė patogumo imtis. Apklausos imties dydžiui nustatyti pasirinkta Lietuvos gyventojų nuo 20 iki 85 ir vyresnio amžiaus populiacija 2021 metais – 2259311 [56]. Kadangi apklausos klausimai yra apie skalbimą namuose, buvo pasirinkta tokios amžiaus grupės gyventojai, kurie, greičiausiai, patys skalbia drabužius.

Apklausos imtis buvo apskaičiuota pagal *Paniotto formulę* (2.1):

$$n = \frac{1}{(\Delta^2 + \frac{1}{N})}, \quad (2.1)$$

čia n – imties dydis;

Δ – imties paklaidos dydis 8 % (tikimybė 95 %);

N – populiacija, vnt..

Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad tyrimui reikalinga minimali imtis – 156 respondentai.

Anketa buvo pasiekama nuo 2022-03-24 iki 2022-05-24. Iš viso apklausoje dalyvavo 164 respondentai.

2.2. Tyrimo objektų (medžiagų) pasirinkimas ir jų charakteristikos

Tyrimams buvo pasirinktos penkios sintetinės megztinės medžiagos, kurios Alytaus mieste įsikūrusioje įmonėje *Haltex* [57] yra dažniausiai naudojamos sportinių drabužių gamybai (2.1 lent.). Medžiagos F1, M1 ir M3 pagamintos iš pirminių sintetinių pluoštų ir yra naudojamos sportinių liemenėlių ir tamprių gamybai. Aktualėjant tvarumo problemai, tyrimams buvo pasirinktos ir dvi iš perdirbtų sintetinių mikropluoštų pagamintos megztinės medžiagos (M2 ir M4), iš kurių dažniausiai gaminami marškinėliai. Pasirinktos poliesterinės megztinės medžiagos skyrėsi pluoštų ir (ar) siūlų struktūra: medžiaga M1 pagaminta iš 100 % daugiagijų poliesterinių siūlų, M2 ir M4 pagaminta iš 100 % perdirbtų poliesterinių mikropluoštų siūlų, ir M3 pagaminta iš pirminio 90 % poliesterio/10 % elastano siūlų.

2.1 lentelė. Medžiagų charakteristikos

Medžiagos kodas	F1	M1	M2	M3	M4
Artikulas	8905	3IN029	3IN062	5723	DO2B1357572
Sudėtis	91 % poliamidas ¹ , 9 % elastanas	100 % Newlife® poliesteris ²	100 % perdirbtas poliesteris ³	90 % poliesteris ¹ , 10 % elastanas	100 % mikropluoštinis poliesteris ³
Tankumas eilučių kryptimi, kilpų sk. / cm	21	19	24	18	21
Tankumas stulpelių kryptimi, kilpų sk. / cm	35	23	33	33	27
Spalva	Juoda	Juoda	Juoda	Balta	Balta
Paviršinis tankis ⁴ , g/m ²	230,0 ± 11,5	120,0 ± 5	100,0 ± 5	220,0 ± 11	135,0 ± 6,75
Storis, mm	0,600 ± 0,03	0,600 ± 0,05	0,490 ± 0,03	0,630 ± 0,03	0,670 ± 0,05

Megztinių medžiagų tankumas (eilučių ir stulpelių skaičius viename centimetre) buvo apskaičiuotas pagal standartą LST EN 14971:2006 [58]. Medžiagų storis buvo nustatytas pagal LST EN ISO

¹ Daugiagijis pluoštas.

² Vienagijis pluoštas.

³ Mikropluoštinis pluoštas.

⁴ Paviršinis tankis buvo nurodytas medžiagų gamintojo.

5084:2000 [59], naudojant stormatį *SCHMIDT Control Instruments DPT 60 digital*. Storis buvo išmatuotas kiekvienos medžiagos penkiems bandiniams prieš ir po skalbimo, vėliau kiekvienai medžiagai buvo apskaičiuotas storio vidurkis ir kiti statistiniai parametrai (2.1 lent., 3 priedas).

Trims poliesterinėms medžiagoms M1, M2 ir M3, besiskiriančioms pluoštų ir (ar) siūlų struktūra, buvo atlikta SEM analizė, naudojant *Quanta 200 F* mikroskopą, esant 1000 kartų didinimui, tiriant medžiagos paviršius, ir 2000 kartų, tiriant medžiagos skerspjūvį. SEM analizė atlikta prieš medžiagų skalbimą ir po skalbimo.

2.3. Bandinių paruošimas skalbimui

Literatūros analizėje buvo pastebėta, kad bandinio dydis skirtinguose tyrimuose varijuoja nuo visai mažų – 4 cm x 4 cm dydžio medžiagos bandinių [29] iki skirtingo dydžio aprangos gaminių [14, 30, 31]. Šiam tyrimui pasirinkti bandinių dydžiai: 90 x 120 cm (F1, M1, M3), kurių vidutiniškai reikia pagaminti vienai moteriškų tamprųjų porai, ir 85 x 110 cm (M2, M4), kurių reikia vieniems moteriškiems marškinėliams pagaminti *Haltex* įmonėje.

Norint išvengti mikropluoštų išsiskyrimo iš kirptų bandinių kraštų, visi bandiniai buvo išpjauti lazeriu. Toks pats bandinių kraštų apdorojimas buvo naudojamas ir kitų tyrėjų publikuotuose tyrimuose [16, 26–27].

Kiekvienai medžiagai tirti buvo naudojama po tris vienodo dydžio bandinius.

2.4. Skalbimo ir mikropluoštų išsiskyrimo vertinimo metodika

Remiantis parengta tyrimo metodikų suvestine (2 priedas), vartotojų apklausos tyrimo rezultatais (žr. 3.1 skr.) bei medžiagų ir drabužių gamintojų rekomenduojamomis priežiūros taisyklėmis, siekiant tvaresnių ir energiją taupančių sprendimų, buvo sukurta nesudėtinga ir laboratorinėmis sąlygomis įgyvendinama mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų tyrimo metodika.

Tyrimui atlikti nenaudota įprasta buitinės paskirties skalbimo mašina, bet pasirinkta ekonomiškesnė skalbimo mašina, kurioje būtų galima reguliuoti skalbimui naudojamą vandens kiekį. Be to, buvo pašalintas trūkumas, nustatytas analizuojant kitų tyrėjų taikytas metodikas, kuomet bandiniai buvo skalbiami buitinėse skalbimo mašinose ir neišlaikomas optimalus skalbinių ir vandens santykis. Tyrimams buvo pasirinkta pusiau automatinė mini skalbyklė *BROCK WM 3001 WH* [60, 61]. Skalbimo mašinos techninės charakteristikos pateikiamos lentelėje (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Skalbyklės *BROCK WM 3001 WH* techninės charakteristikos

Rekomenduojama maksimali skalbinių masė	Skalbimo trukmė	Grėžimo trukmė	Grėžimo intensyvumas
3 kg	15 min	3 min	600 aps./min

Skalbimo tyrimui reikalingas vandens kiekis buvo parinktas remiantis gamintojo nurodytais minimaliu ir maksimaliu kiekiais bei rezultatais, gautais atlikus du bandomuosius skalbimus. Pirmojo bandomojo skalbimo metu skalbimo mašinos būgnas buvo užpildytas beveik iki viršaus, taip stengiantis užpildyti apie 75 % viso skalbimo mašinos būgno ir imituoti apklausos rezultatuose




atskleistus vartotojų įpročius (3.3 pav.). Skalbimui buvo naudota 2 kg įvairios pluoštinės sudėties drabužių. Drabužius sudėjus į skalbimo mašinos būgną, į jį buvo pripilta 10 l vandens. Taip mašinos būgnas buvo užpildytas beveik iki maksimalios leistinos ribos. Remiantis šiuo (1:5) santykiu, bandiniams skalbti buvo nuspręsta naudoti 1000 ml vandens skalbimui su skalbikliu ir 1000 ml vandens perskalavimui be skalbiklio. Atlikus antrąjį bandomąjį skalbimą, kurio metu buvo skalbiamas medžiagos M3 bandinys, buvo pastebėta, kad megztinė medžiaga sugeria beveik visą skalbimo mašinos būgne esantį vandenį, todėl buvo nuspręsta vandens kiekį padidinti ir tiek skalbimui su skalbikliu, tiek perskalavimui be skalbiklio naudoti 1500 ml vandens, taip iš viso vienam skalbimui sunaudojant 3000 ml vandens. Skalbimui naudoto vandens pH – 6-7. Vandens pH vertė nustatyta naudojant *METRIA CSPH-001-001* indikatorines juosteles.

Skalbimo mašinos gamintojas nenurodė tikslios gręžimo intensyvumo vertės skalbimo mašinos pakuotėje esančiuose dokumentuose. Skalbimo mašinos pardavėjų puslapyje [60] buvo nurodyta, kad gręžimo intensyvumas yra 600 aps./min. Visi bandiniai buvo gręžiami šiuo intensyvumu po 3 min (nurodyta maksimali gręžimo trukmė naudotoje skalbimo mašinoje).

Skystas skalbiklis pasirinktas remiantis apklausos rezultatais (3.7 pav.). Stengiantis naudoti aplinkai mažiau kenkiantį produktą, naudotas *Agnotis Baby* skalbiklis, pagamintas iš 93 % natūralių ingredientų [62]: 5-15 % nejoninių paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM), < 5 % anijoninių paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM), muilo, amfoterinių paviršiaus aktyviųjų medžiagų (PAM), polikarboksilatų, enzymų, dezinfekavimo priemonių, kvapiųjų medžiagų.

Reikalinga skalbiklio koncentracija (1,6 ml skalbiklio/0,2 g skalbinių) buvo nustatyta pagal bandinių mases bei remiantis gamintojų rekomendacijomis (2.3 lent.), pateiktomis ant skalbiklio pakuotės, kai skalbiama kietame vandenyje mažai suteptus drabužius, nes dauguma apklausos dalyvių atsakė, kad sportinę aprangą skalbia po kiekvieno dėvėjimo.

2.3 lentelė. Skalbiklio gamintojo rekomenduojamas skalbiklio kiekis

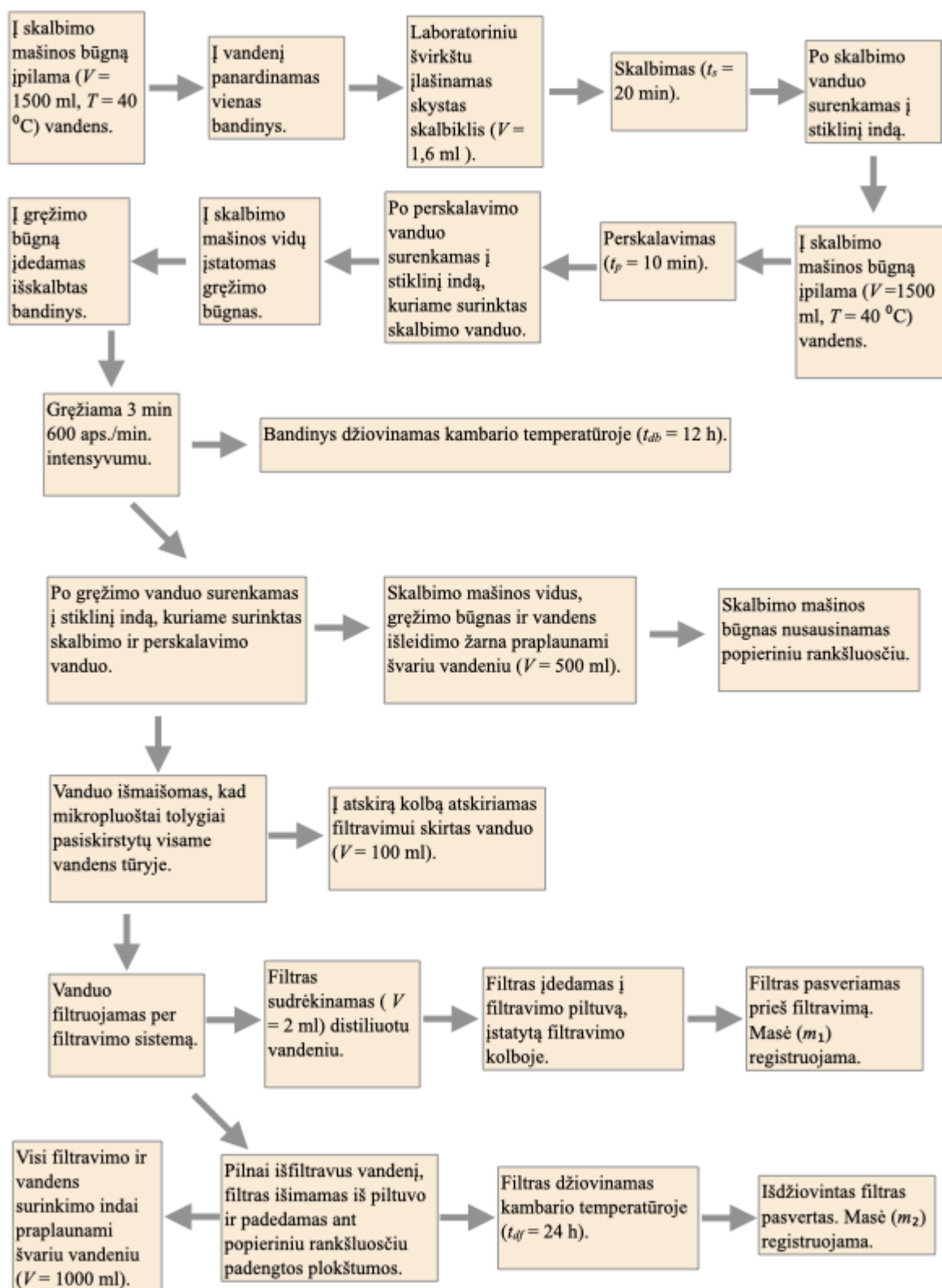
Drabužių būklė			
4-5 kg skalbinių			
Minkštam vandeniui	30 ml	45 ml	75 ml
Kietam vandeniui	45 ml	60 ml	90 ml
6-7 kg skalbinių			
+ 20 ml			
Skalbimui rankomis	30 ml / 10 l vandens		

Apklausos rezultatai (3.4 pav.) parodė, kad vartotojai dažniausiai parenka 30 min ir 60 min skalbimo trukmes. Šiam tyrimui buvo nuspręsta pasirinkti tvaresnį sprendimą ir kiekvieną bandinį

skalbti 30 min, iš kurių 20 min buvo skirta skalbimui su skalbikliu ir 10 min skirta perskalavimui be skalbiklio.

Skalbimo temperatūrai nustatyti buvo naudojami vartotojų apklausos rezultatai (3.5 pav.), bei buvo atlikta trumpa analizė, kurios metu buvo išanalizuotos sportinių drabužių gamintojo ir pardavėjo *Audimas* internetinėje parduotuvėje parduodamų sportinių moteriškų tamprų priežiūros rekomendacijos (4 priedas) ir šiame darbe tirtų megztinių medžiagų gamintojų nurodytos skalbimo rekomendacijos (5 priedas). Remiantis apibendrintais atliktos analizės rezultatais buvo pasirinkta 40 °C skalbimo temperatūra.

Mikropluoštų išsiskyrimo iš skalbiamų tekstilės medžiagų bandymas (vienas skalbimo ciklas) buvo sudarytas iš dviejų pagrindinių dalių: skalbimo ir filtravimo. Skalbimo ir filtravimo metodika pateikta 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Skalbimo ir filtravimo metodika

Kiekvieno skalbimo ciklo metu kiekvienai medžiagai buvo skalbiama po 3 bandinius. Kiekvienai medžiagai buvo kartojami 5 skalbimo ciklai.

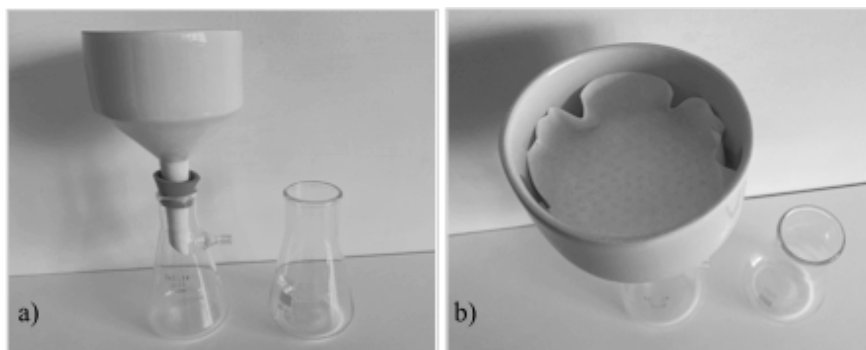
Po kiekvieno skalbimo ciklo bandinys buvo visiškai išdžiovinamas kambario temperatūroje prieš atliekant kitą skalbimo ciklą.

Bandiniai buvo skalbiami 40 °C laipsnių temperatūros vandenyje. Buvo naudojamas iš čiaupo bėgantis karštas vanduo. Vandens temperatūra buvo nustatoma naudojant dalinai panardinamą *PromoLab* termometrą. Į mašinos būgną buvo įpilama 1500 ml 40 °C temperatūros vandens ir į jį panardinamas medžiagos bandinys. Tikslus 1,6 ml skalbiklio kiekis buvo sulašinamas naudojant laboratorinį švirkštą. Vieno skalbimo ciklo trukmė – 30 min. Pirmiausia bandinys buvo skalbiamas su skalbikliu (t_s) 20 min. Po pagrindinio skalbimo su skalbikliu, visas skalbimo vanduo buvo supilamas į stiklinį indą. Į mašinos būgną vėl buvo įpilama 1500 ml 40 °C laipsnių temperatūros vandens, tačiau nebuvo naudojamas skalbiklis. Bandinys buvo perskalaujamas (t_p) 10 min. Po perskalavimo, vanduo buvo surenkamas į tą patį indą, kuriame buvo surinktas pagrindinio skalbimo su skalbikliu vanduo. Po skalbimo su skalbikliu ir skalavimo į skalavimo mašiną buvo įstatomas gręžimo būgnas, į kurį buvo įdedamas išskalbtas bandinys. Bandinys buvo gręžiamas 3 min 600 aps./min. intensyvumu. Gręžimo metu išsiskiriantis vanduo taip pat buvo surenkamas. Po gręžimo bandinys buvo paliekamas išdžiūti (t_{db}) 12 h kambario temperatūroje. Po kiekvieno bandinio skalbimo, mašinos būgnas ir vandens išleidimo žarna buvo praplauti švairiu vandeniu ($V = 500$ ml). Skalavimo mašinos vidus buvo nusausintas popieriniu rankšluosčiu.

Į stiklinį indą surinktas pagrindinio skalbimo tirpalas ir skalavimo vanduo buvo gerai išmaišomas metaliniu šaukštu, kad nusėdę sintetiniai mikropluoštai tolygiai pasiskirstytų visame vandens tūryje. Iš surinkto 3000 ml vandens į stiklinę Erlenmejerio kolbą buvo atskirta 100 ml vandens filtravimui.

Filtravimui buvo pasirinktas 150 mm skersmens celiuliozinis filtrinis popierius *PRAT DUMAS France*, kurio akučių skersmuo yra 7–10 μm . Filtrinis popierius buvo naudotas ir kituose, sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą analizuojančiuose tyrimuose [15–16, 27, 37, 44–45].

Filtrą buvo įdėtas į porcelianinį Biuchnerio piltuvą (2.2 pav.), kuris buvo įstatytas į stiklinę Bunzeno kolbą. Speciali laboratorinė guminė tarpinė buvo naudojama, kad filtravimo piltuvas kolboje stovėtų tolygiai ir filtruojant vandenį nepasvirtų į šoną. Kiekvienas filtras buvo sudrėkinamas 2 ml distiliuoto vandens, kad geriau priliptų prie piltuvo dugno ir nepasislinktų per jį pilant filtravimo vandenį. Į parengtą filtravimo sistemą buvo pilama filtravimui skirta 100 ml vandens.



2.2 pav. Filtravimo sistema iš šono (a) ir viršaus (b)

Išfiltravus vandenį, filtras buvo išimtas iš piltuvo ir paliekamas ant popieriniu rankšluosčiu padengtos medinės plokštumos išdžiūti (t_{df}) 24 h kambario temperatūroje. Po 24 h išdžiūvę filtrai vėl buvo pasveriami.

Prieš atliekant filtravimą ir po filtravimo kiekvienas filtras buvo sveriamas atskirai *Electronic Digital SCSLE* svarstyklėmis, ir registruojama jo masė, esant toms pačioms aplinkos sąlygoms (20 °C temperatūrai) (6 priedas).

Visi filtravimo ir vandens surinkimo indai bei įrankiai po kiekvieno filtravimo buvo praplaunami 1000 ml švaraus vandens.

Mikropluoštų, išsiskyrusių iš skalbiamų megztinių medžiagų, kiekis buvo vertinamas pagal filtro masės, nustatytos prieš (m_1) ir po (m_2) filtravimo, pokytį (6 priedas).

Filtro masės pokytis (Δm) apskaičiuotas pagal formulę (2.2):

$$\Delta m = m_2 - m_1, \quad (2.2)$$

čia Δm – masių pokytis, mg;

m_1 – filtro masė prieš filtravimą, mg;

m_2 – išdžiūvusio filtro masė po filtravimo, mg.

Tyrimo rezultatų reikšmingumui įvertinti atlikta statistinė analizė [63].

Apskaičiuotas masės vidurkis \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (2.3)$$

čia x_i – i-tasis rezultatas;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$;

n – rezultatų skaičius.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}; \quad (2.4)$$

Variacijos koeficientas v :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100; \quad (2.5)$$

Absoliutinė paklaida:

$$\Delta = \frac{t_n \cdot s}{\sqrt{n}} = \frac{t_n \cdot v \cdot \bar{x}}{100\sqrt{n}}; \quad (2.6)$$

Santykinė paklaida:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 = \frac{t_n \cdot v}{\sqrt{n}}; \quad (2.7)$$

čia t_n – Stjudento kriterijus (čia $t_n = 4,30$), priklausantis nuo pasirinktos pasiklovimo tikimybės α ir nuo laisvės laipsnių skaičiaus, apskaičiuojamo $\varphi = n-1$;

Po pirmojo ir penktojo M1, M2 ir M3 megztinių medžiagų skalbimo ciklo, vienam iš pasirinktų medžiagos bandinių, optiniu mikroskopu *Lumenera INFINITY* buvo atlikta ant filtrų nusėdusių mikropluoštų analizė.

Atrinktiems filtrams, atsitiktiniu būdu, tose vietose, kuriose buvo geriausiai matomi nusėdusių mikropluoštų elementai, *INFINITY ANALYZE* programos pagalba buvo padarytos 10 kartų padidinto vaizdo nuotraukos ir išmatuotos matomų mikropluoštų ilgio vertės. Ant skirtingų filtrų buvo randami skirtingi mikropluoštų kiekiai. Visų jų ilgių vertės pateikiamos 7 priede ir 3.8–3.18 paveiksluose.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

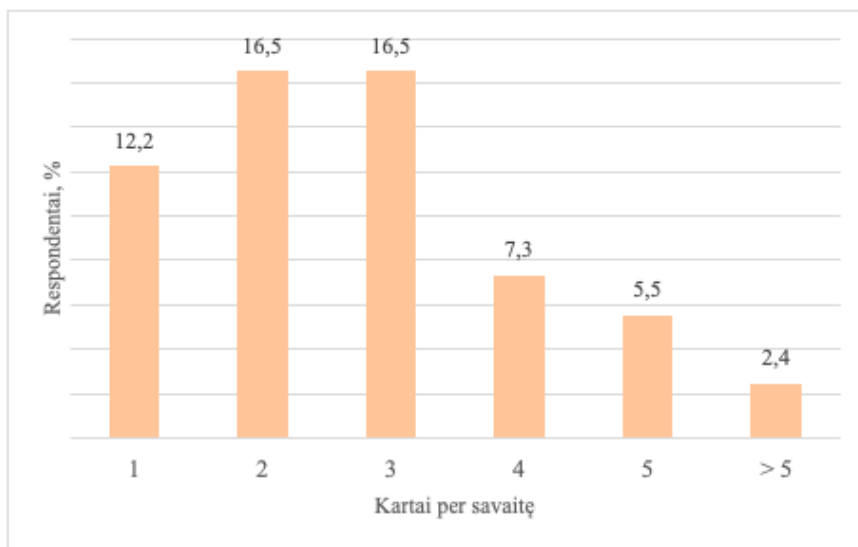
Bandymai buvo atlikti pagal nurodytas tyrimo metodikas. Buvo nustatyta vartotojų dažniausiai taikomi skalbimo parametrai bei jų skalbimo įpročiai, buvo surasti išsiskiriančių mikropluoštų kiekiai, įvertintos mikropluoštų charakteristikos bei medžiagų vizualiniai pokyčiai po skalbimo.

3.1. Vartotojų apklausos rezultatai ir jų aptarimas

Remiantis anketinės apklausos rezultatais buvo sudarytas trumpas respondento profilis ir apibūdinti vartotojų skalbimo namuose įpročiai.

3.1.1 Respondento profilis

Iš 164 apklausoje dalyvavusių respondentų, 59,8 % atsakė sportuojantys, o likę 40,2 % atsakė, jog niekada nesportuoja. 12,2 % apklaustųjų sportuoja bent kartą per savaitę, po 16,5 % respondentų atsakė, kad sportuoja du arba tris kartus per savaitę. 15,2 % respondentų sportuoja daugiau nei keturis kartus per savaitę (3.1 pav.).



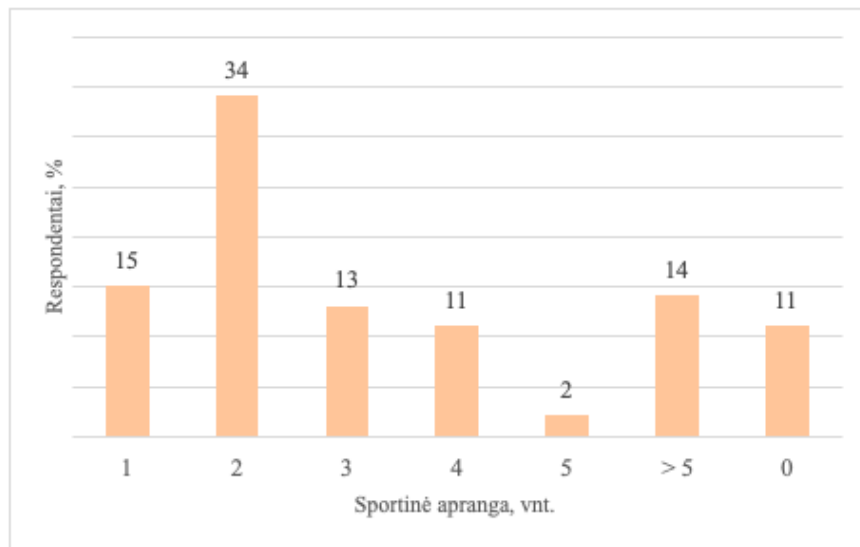
3.1 pav. Sportavimo dažnumas per savaitę

Gauti rezultatai parodo, kad iš sintetinių pluoštų pagaminti drabužiai yra skalbiami labai dažnai (3.1 lent.). 57 % sportuojančių apklaustųjų skalbia sportinę aprangą po kiekvienos treniruotės, 35 % skalbia po dviejų, ir likę 8 % respondentų sportinę aprangą skalbia po trijų treniruočių.

3.1 lentelė. Sportinės aprangos skalbimo dažnumas

Po kelių treniruočių skalbiama	Respondentai, %
Vienos	57,0
Dviejų	35,0
Trijų	8,0

Be to, tik 11 % apklaustų respondentų atsakė, kad neturi sportui skirtos aprangos ir sporto metu dėvi laisvalaikio drabužius, o 15 % respondentų turi tik vieną sportinės aprangos komplektą (3.2 pav.).



3.2 pav. Respondentų turimų sportinės aprangos kostiumų skaičius

Didžioji dauguma vartotojų turi daugiau nei du sportinės aprangos, pagamintos iš sintetinių medžiagų, komplektus, kurie yra skalbiami dažnai. Taigi, buitinio skalbimo metu išsiskiriančių sintetinių mikropluoštų tyrimai iš tiesų yra aktualūs.

3.1.2 Vartotojų skalbimo namuose įpročiai

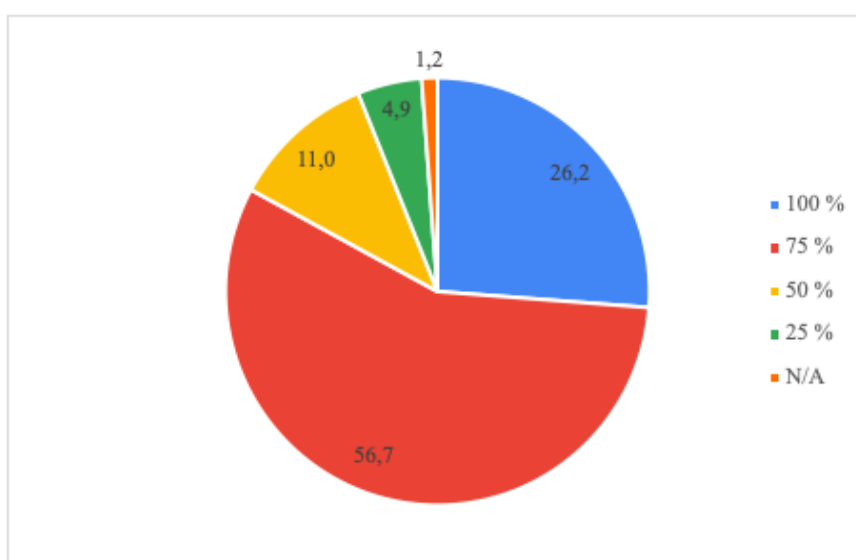
Skalbimas namuose gali būti vykdomas įvairiais būdais ir taikant skirtingus parametrus. Jis gali būti atliekamas rankomis arba skalbimo mašina: pakraunamoje iš šono ir pakraunamoje iš viršaus. Kai kuriais atvejais vartotojai gali rinktis drabužių namuose neskalbti ir naudotis drabužių valymo paslaugomis. Apklausos rezultatai parodė, kad didžioji dauguma apklausos dalyvių (71,3 %) skalbimui namuose naudoja iš šono pakraunamas skalbimo mašinas (3.2 lent.). 18,3 % respondentų renkasi iš viršaus pakraunamas skalbimo mašinas, 5,5 % respondentų sintetinius drabužius skalbia rankomis ir iš šono pakraunamose skalbimo mašinose, 1,8 % respondentų skalbia rankomis ir iš viršaus pakraunamose skalbimo mašinose, 1,2 % respondentų skalbia tik rankomis. Tik po 0,6 % respondentų naudojami valymo paslaugomis ir skalbia iš šono pakraunamose skalbimo mašinose arba naudoja tiek iš viršaus, tiek iš šono pakraunamas skalbimo mašinas.

3.2 lentelė. Apklausos respondentų namuose naudojamų skalbimo mašinos tipų ir kitų skalbimų būdų pasiskirstymas

Skalbimo būdas	Respondentai, %
Pakraunama iš viršaus skalbimo mašina	18,3
Pakraunama iš šono skalbimo mašina	71,3
Rankomis	1,2

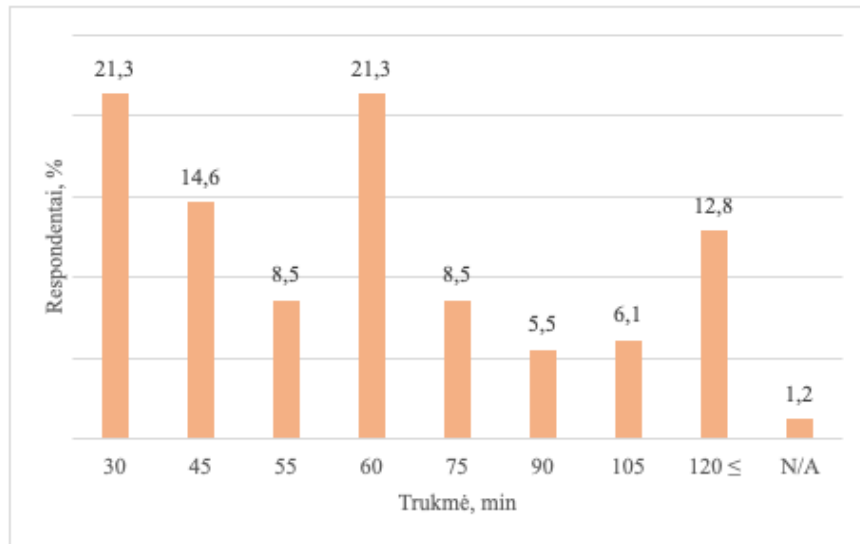
Skalbimo būdas	Respondentai, %
Valymo paslaugos	0,0
Pakraunama iš viršaus skalbimo mašina; Rankomis	1,8
Pakraunama iš šono skalbimo mašina; Rankomis	5,5
Pakraunama iš viršaus skalbimo mašina; Pakraunama iš šono skalbimo mašina	0,6
Pakraunama iš viršaus skalbimo mašina; Valymo paslaugos	0,6
Pakraunama iš šono skalbimo mašina; Valymo paslaugos	0,0
Neatsakė	0,6

Dėl taikomų skirtingų skalbimo parametrų ir skalbimo programų, vartotojų gyvenimo įpročių, gali skirtis ir skalbimo vandens temperatūra, trukmė, gręžimo intensyvumas bei skalbimo būgno užpildymo kiekis. Dauguma respondentų (56,7 %) užpildo 75 % maksimaliai leistino skalbinių kiekio, kuris nurodytas skalbimo mašinos naudojimo instrukcijose (3.3 pav.). 26,2 % respondentų maksimaliai užpildo skalbimo mašinos būgną, 11 % respondentų užpildo pusę, o 4,9 % respondentų užpildo tik ketvirtadalį. Mažiau užpildytas skalbimo mašinos būgnas reiškia, kad skalbinių ir vandens santykis bus mažesnis, o tai gali sukelti ir didesnę sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą [37], tačiau perpildytas skalbimo mašinos būgnas gali pakenkti skalbimo kokybei [37], todėl optimalus variantas yra tuomet, kai užpildoma 75 % skalbimo mašinos būgno. Tokie rezultatai rodo, kad beveik pusė vartotojų nežino, kaip teisingai užpildyti skalbimo mašinos būgną.



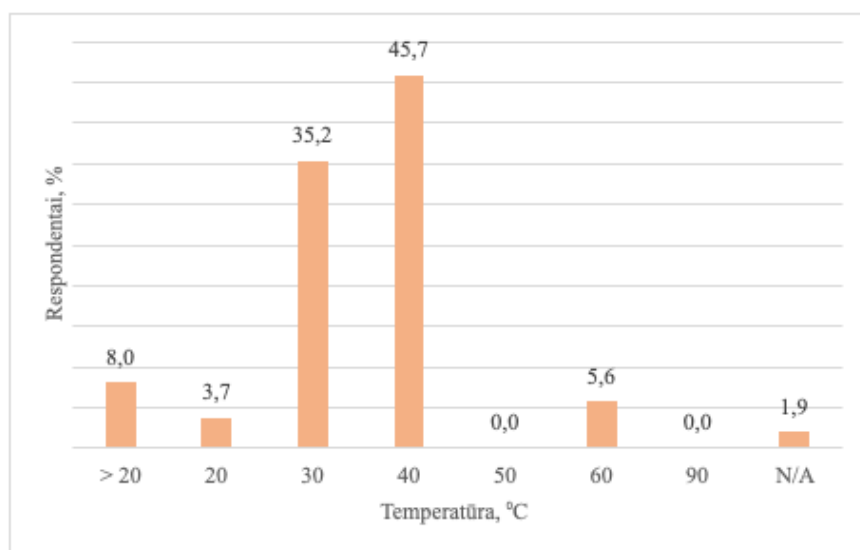
3.3 pav. Skalbimo mašinos būgno užpildymas

Kaip jau minėta literatūros apžvalgoje, ilgesnė skalbimo trukmė skatina didesnę mikropluoštų išsiskyrimą [27, 28, 31, 39, 44]. Apklauso dalyviai dažniausiai naudoja skalbimo programas, kurių trukmė 30 min (21, %) arba 60 min (21, %), tačiau 3.4 paveiksle matyti, kad likusieji respondentai pasirenka labai skirtingą skalbimo trukmę. Tokie rezultatai gauti, tikėtina, todėl, kad vartotojai dažnai neįvertina, kokia skalbimo trukmė yra pakankama kokybiškai išskalbti drabužius.



3.4 pav. Skalbimo trukmė

Aukštesnė skalbimo temperatūra, kaip ir ilgesnė skalbimo trukmė, lemia didesnio mikropluoštų kiekio išsiskyrimą [27, 28, 31, 39, 44]. Beveik pusė apklaustų respondentų (45,7 %) atsakė, kad jų dažniausiai parenkama temperatūra sintetiniams drabužiams skalbti yra 40 °C (3.5 pav.). 35,2 % apklaustųjų atsakė, kad dažniausiai skalbia 30 °C temperatūros vandenyje. Rečiausiai skalbiama 20 °C (3,7 %) ir 60 °C (5,6 %) temperatūros vandenyje.

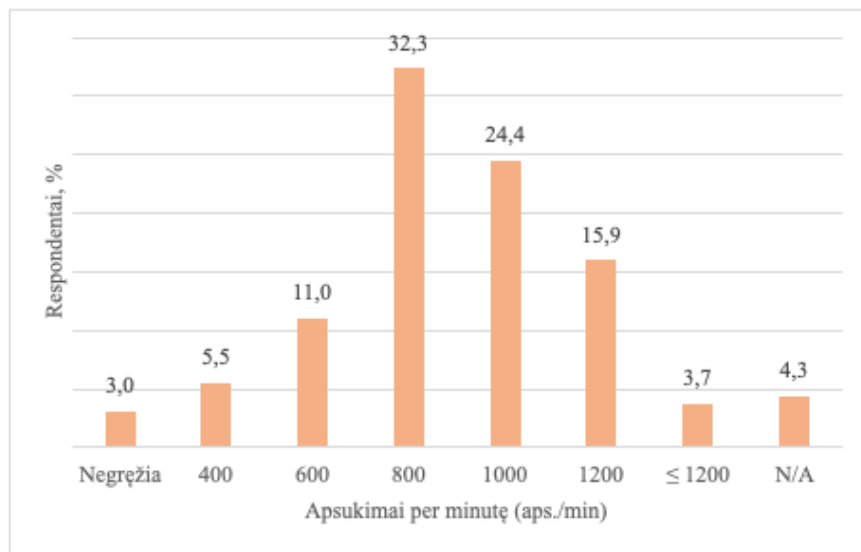


3.5 pav. Skalbimo temperatūra

Skalbimo temperatūros rezultatai buvo palyginti su gamintojų rekomenduojamomis skalbimo temperatūromis (4–5 priedai). Sportinių drabužių gamintojo *Audimas* internetiniame puslapyje bei tyrimuose naudotų megztinių medžiagų gamintojų rekomenduojamos skalbimo temperatūros buvo 30 °C ir 40 °C.

Nors net 51,2 % respondentų atsakė niekada neskaitantys gaminio priežiūros etiketėje pateiktų skalbimo rekomendacijų, 8,9 % respondentų atsakė jas skaitantys tik kartais, tačiau apklausos rezultatai atskleidžia, kad gamintojų rekomenduojamos ir vartotojų dažniausiai naudojamos skalbimo temperatūros sutampa. Tokiam sutapimui, galimai, kaip ir skalbimo trukmės atveju, įtakos turėjo tai, kad vartotojai nėra linkę keisti standartinės skalbimo programos parametrų ir naudoja jau numatytuosius skalbimo mašinų gamintojų parametrus.

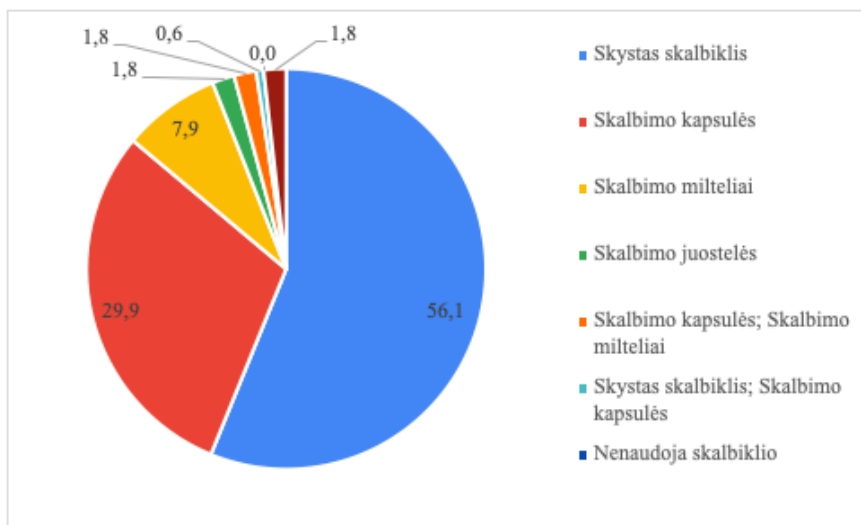
Automatinėse iš viršaus ir iš šono pakraunamose skalbimo mašinose dažnai yra naudojamas ir gręžimo ciklas. Kadangi gręžimo metu skalbimo mašinos būgne esantys skalbiniai yra smarkiai veikiami trinties, t. y. mechaninio poveikio, kuris turi įtakos sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui [22, 31, 33–35], anketoje buvo pateiktas klausimas apie dažniausiai po skalbimo taikomą gręžimo intensyvumą. Daugiausiai respondentų (32,3 %) atsakė, kad gręžimui renkasi 800 apsisukimų per minutę intensyvumą, beveik 25 % respondentų naudoja gręžimo programą, kurioje yra 1000 apsisukimų per minutę ir 15,9 % respondentai renkasi programą su 1200 apsisukimų per minutę. Tik 3 % visų apklaustų respondentų visai nenaudoja gręžimo funkcijos (3.6 pav.).



3.6 pav. Gręžimo intensyvumas

Dėl plataus skalbiklių pasirinkimo rinkoje, skirtinguose namų ūkiuose taip pat gali būti naudojami skirtingi skalbiklių tipai: skysti, miltelių arba kapsulių pavidalo ir kt. Aukštesnis vandens pH bei birių skalbimo miltelių sukeliama trintis sukelia didesnę mikropluoštų išsiskyrimą [22, 31], todėl respondentų buvo klausama, ar skalbimo metu jie naudoja skalbiklius ir, jei naudoja, kokios rūšies skalbiklius dažniausiai renkasi. Daugiau nei pusė apklausos dalyvių (56,1 %) atsakė, jog renkasi skystus skalbiklius, 29,9 % respondentų renkasi kapsulių pavidalo skalbiklius, 7,9 % respondentų naudoja birius skalbimo miltelius (3.7 pav.). Kai kurie respondantai paminėjo, kad skalbimui

naudoja skirtingų tipų skalbiklius, tačiau nei vienas apklaustas respondentas nepaminėjo, kad skalbimui nenaudoja jokio skalbiklio.



3.7 pav. Skalbiklio tipas

Minkštiklis gali būti naudojamas kiekvieno skalbimo metu arba nenaudojamas visiškai. Kaip ir skalbiklis, skalbinių minkštiklis taip pat turi įtakos vandens pH [15], be to, sumažina trintį tarp pluoštų [15]. Pusė visų apklaustų respondentų atsakė, kad skalbdami iš sintetinių pluoštų pagamintus drabužius nenaudoja jokio minkštiklio, 29,3 % respondentų jį naudoja kiekvieno skalbimo metu, o 12,8 % apklaustųjų atsakė, kad minkštiklį naudoja tik laisvalaikio drabužiams skalbti (3.3 lent.). Svarbu paminėti, kad 3 % respondentų atviruose atsakymuose paminėjo, kad nors minkštiklio nesirenka sąmoningai, bet juos naudoja, nes minkštiklio yra jų naudojamose skalbimo kapsulėse.

3.3 lentelė. Minkštiklio naudojimas

Minkštiklio naudojimas	Respondentai, %
Kiekvieno skalbimo metu	29,3
Niekada	50,0
Kartais	1,8
Tik laisvalaikio drabužiams skalbti	12,8
Tik sportiniams drabužiams skalbti	0,0
Naudoja kartu su skalbimo kapsulėmis	3,0
Neatsakė	3,0

Skirtingos pluoštinės sudėties drabužiams prižiūrėti reikia skirtingų priežiūros būdų ir skirtingų skalbimo sąlygų, todėl anketoje buvo klausiama, ar respondentai skalbia iš sintetinių pluoštų

pagamintus sportinius drabužius su kitos pluoštinės sudėties drabužiais. Net 81,1 % atsakė, kad iš sintetinių pluoštų pagamintus drabužius visada skalbia su kitos pluoštinės sudėties drabužiais (3.4 lent.). Tokie rezultatai leidžia teigti, kad atlikta apklausa gali būti aktuali ir tyrimams, kurių metu tiriamos skirtingos pluoštinės sudėties medžiagos.

3.4 lentelė. Sportinės aprangos skalbimas su kitos sudėties drabužiais

Sportinės aprangos skalbimas	Respondentai, %
Visada skalbia su įvairios pluoštinės sudėties drabužiais	81,1
Niekada nescalbia su kita, ne sporto metu dėvėta apranga	4,3
Visada skalbia tik su iš sintetinių pluoštų pagamintais drabužiais	13,4
Neatsakė	1,2

Apklausos metu buvo pateikti klausimai apie tai, kokių gamintojų skalbiklius, minkštiklius ir skalbimo mašinas respondentai naudoja namuose, tačiau atsakymus pateikė ne visi respondentai, o gauti rezultatai labai varijavo, todėl buvo nuspręsta šių atsakymų projekte nenaudoti.

3.1.3 Vartotojų sintetinių drabužių dėvėjimo ir skalbimo įpročių tyrimo rezultatų apibendrinimas

Atliktos apklausos rezultatai atskleidžia, kad vartotojų įpročiai skalbiant sintetinius drabužius varijuoja, tačiau galima išvelgti tam tikras tendencijas. Dauguma respondentų turi daugiau nei vieną sportinės aprangos kostiumą ir yra linkę jį dažnai skalbti. Populiariausios yra šono pakraunamos skalbimo mašinos. Vartotojai linkę užpildyti 75 % skalbimo mašinos būgno ir skalbti drabužius 30 arba 60 minučių. Dažniausiai sintetiniai drabužiai yra skalbiami 40 °C temperatūroje, kuri yra viena iš temperatūrų, dažniausiai rekomenduojamų tekstilės medžiagų ir sportinių drabužių gamintojų, tačiau daugiau nei pusė vartotojų pripažino, kad niekada nesidomi gamintojų rekomendacijomis, nurodytomis gaminio priežiūros etiketėje. Po skalbimo drabužiams, pagamintiems iš sintetinių pluoštų, išgręžti dažniausiai parenkamas 800 apsisukimų per minutę gręžimo intensyvumas. Dažniausiai skalbimo metu naudojamas skystas skalbiklis ir nenaudojamas joks minkštiklis, tačiau jis būna tuomet, kai vartotojai skalbimui nesąmoningai pasirenka skalbimo kapsules. Be to, iš sintetinių pluoštų pagaminti drabužiai dažniausiai yra skalbiami su kitos pluoštinės sudėties drabužiais, kurių skalbimo rekomendacijos dėl skirtingos pluoštinės sudėties ir kitų charakteristikų gali skirtis.

Remiantis apklausos rezultatais, sudaryta sintetiniams drabužiams namuose skalbti vartotojų dažniausiai taikomų skalbimo parametrų suvestinė (3.5 lent.).

3.5 lentelė. Dažniausiai namuose taikomų skalbimo parametrų suvestinė

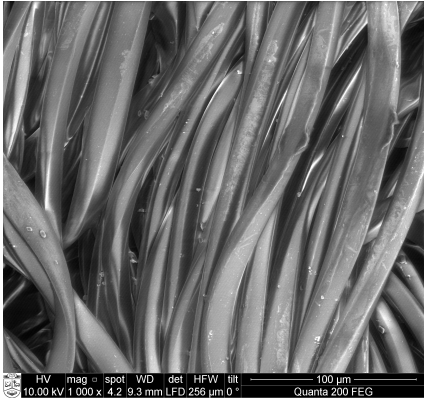
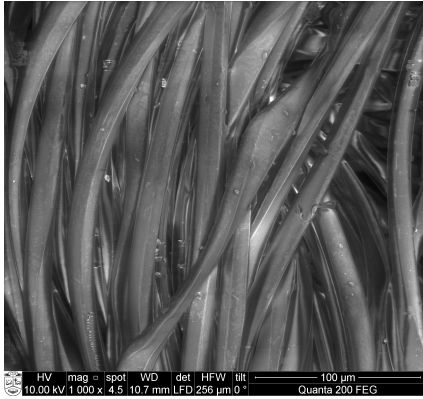
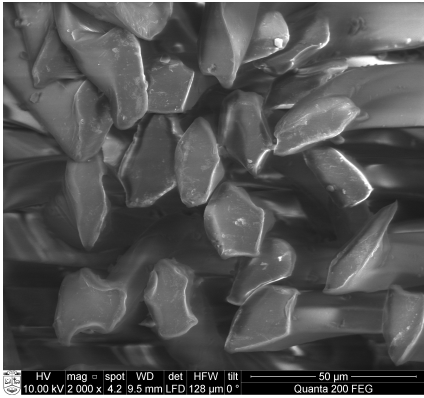
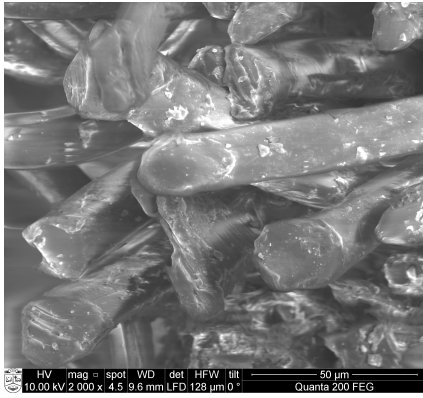
Skalbimo tipas	Skalbimo mašinos būgno užpildymas	Skalbimo trukmė	Vandens temperatūra	Gręžimo intensyvumas	Skalbiklio tipas	Minkštiklio naudojimas
Pakraunama iš šono skalbimo mašina	75 %	30 min / 60 min	40 °C	800 aps./min	Skystas	Ne

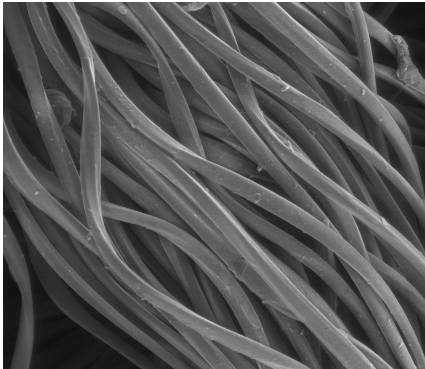
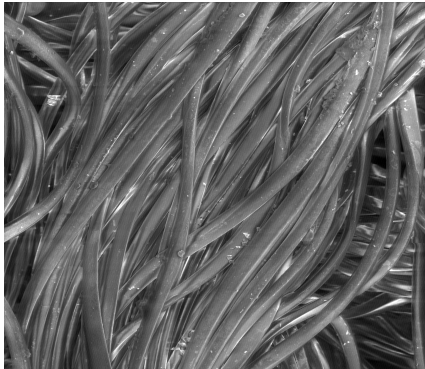
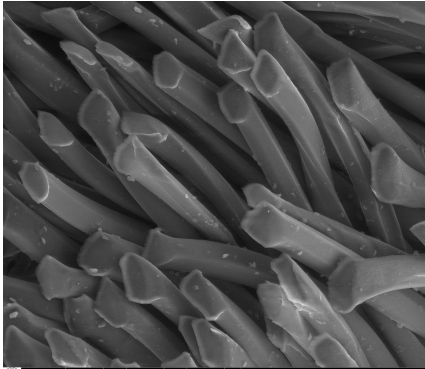
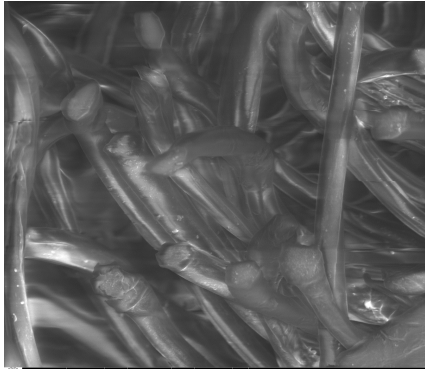
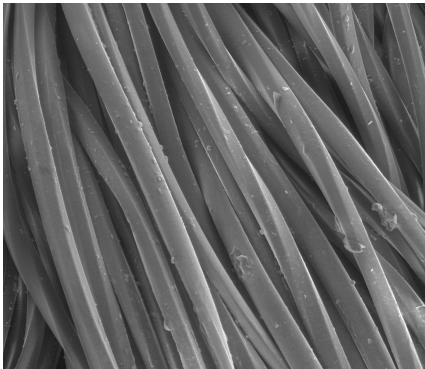
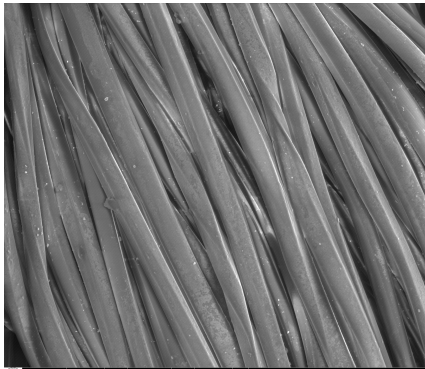
Remiantis 3.5 lentelės duomenimis, tyrimo metodikų suvestine (2 priedas), medžiagų ir drabužių gamintojų rekomenduojamomis priežiūros taisyklėmis (5 priedas), bei priimant tvaresnius aplinkai sprendimus, buvo sukurta tyrimo metodika, skirta ištirti sintetinių mikropluoštų išsiskyrimui iš skalbiamų tekstilės medžiagų (žr. 2.2 skyrius).

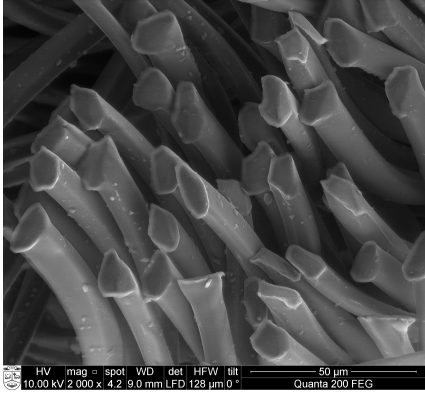
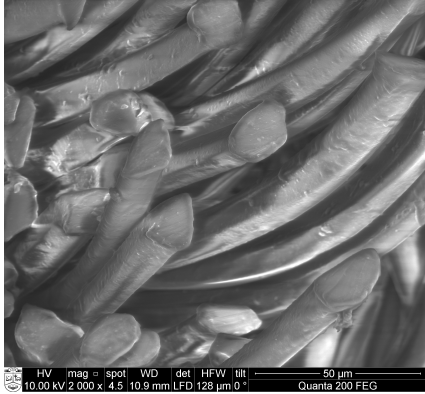
3.2. Medžiagų SEM analizės rezultatai

Medžiagų M1, M2 ir M3 paviršiaus ir skerspjūvio SEM analizė buvo atlikta prieš medžiagų skalbimą ir po penktojo skalbimo ciklo (3.6 lent.).

3.6 lentelė. Medžiagų SEM analizė prieš skalbimą ir po penktojo skalbimo ciklo

Medž. kodas	Prieš skalbimą	Po 5-ojo skalbimo ciklo
M1 megztinė medžiaga		
		

Medž. kodas	Prieš skalbimą	Po 5-ojo skalbimo ciklo
M2 megztinė medžiaga	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 100 μm 10.00 kV 1.000 x 4.2 9.2 mm LFD 256 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 100 μm 10.00 kV 1.000 x 4.5 10.6 mm LFD 256 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>
	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 50 μm 10.00 kV 2.000 x 4.2 8.9 mm LFD 128 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 50 μm 10.00 kV 2.000 x 4.5 10.9 mm LFD 128 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>
M3 megztinė medžiaga	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 100 μm 10.00 kV 1.000 x 4.2 9.1 mm LFD 256 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>	 <p>HV mag = spot WD det HFW tilt 100 μm 10.00 kV 1.000 x 4.5 10.6 mm LFD 256 μm 0 ° Quanta 200 FEG</p>

Medž. kodas	Prieš skalbimą	Po 5-ojo skalbimo ciklo
		

Paviršiaus nuotraukose matyti, kad visų medžiagų pluoštų paviršiai yra panašūs, lygūs, tačiau medžiagos M2 pluoštai yra plonesni už medžiagų M1 ir M3. To priežastis gali būti tai, kad iš perdirbtų medžiagų pagaminti pluoštai dažnai yra mažesnio skersmens nei pirminiai pluoštai [64]. Tokie pluoštai taip pat pasižymi nelygumu, pluoštai išsidėstę įvairiomis kryptimis ir turi mažą tempiamąjį stiprį [64], todėl dar prieš vykdant skalbimo bandymus buvo galima kelti hipotezę, kad medžiaga M2 išskirs daugiausia mikropluoštų palyginti su medžiagomis M1 ir M3. Nors medžiagos M1 individualių pluoštų storis SEM nuotraukose yra didesnis, matyti, kad tarp jų yra daug mažiau oro tarpų. Tokia struktūra mažina ir medžiagos laidumą orui [65]. M3 medžiagos paviršiaus nuotraukose matyti, kad joje pluoštai išsidėstę tolygiausiai ir tvarkingiausiai, tačiau ant jų paviršiaus matyti daugiausiai smulkių dalelių, kurios, tarsi, primena dėmes. Kadangi gamintojo specifikacijose nebuvo paminėta jokia papildoma apdaila, tai gali būti balinimo dalelių granulės, skirtos sumažinti sintetinių pluoštų spindesį [66]. M3 medžiagoje yra 10 % elastano pluoštų, kurie paviršiaus SEM nuotraukose nėra akivaizdžiai išsiskiriantys, tačiau galima įžvelgti, kad kai kurių pluoštų paviršius nėra visiškai glotnus, juose matyti „grioveliai“, kurie būdingi elastano pluoštams [66].

Medžiagų skerspjūvių SEM nuotraukose matyti, kad visų medžiagų pluoštai yra pilnaviduriai, nei vienos iš medžiagų pluoštų skersmuo nėra visiškai apskritas, visose medžiagose pluoštų forma labiau primena trikampi arba penkiakampį, tačiau medžiagoje M1 ši forma matyti geriausiai. Trikampio formos pluoštai pasižymi geresnėmis absorbcinėmis savybėmis [66], tad galima teigti, kad iš M1 medžiagos pagaminta sportinė apranga geriausiai sugertų prakaitą. Kaip ir medžiagų paviršių SEM nuotraukose, skerspjūvių SEM nuotraukose matyti, kad medžiagos M1 pluoštai yra arčiausiai vienas kito. Trikampio formos pluoštai pasižymi mažesniu atsparumu lenkimui ir pailgėjimu [66]. M2 ir M3 medžiagų pluoštų skersmuo, palyginti su M1 medžiagos, yra mažesnis, jų forma panaši į elipsę, kas taip pat pagerina prakaito sugėrimą [66], tarp pluoštų matyti oro tarpai, tad medžiagos yra laidesnės orui. M3 medžiagoje matomi plokštesni pluoštai suteikia medžiagai švelnumo [66].

Po skalbimo užfiksuotuose medžiagų paviršiaus SEM nuotraukose matyti, kad ant visų medžiagų pluoštų yra nusėdę netaisyklingos formos dalelės, kurios savo išvaizda skiriasi nuo prieš tai matytų balinimo granuliu, kurios buvo matomos ant M3 medžiagos. Tikėtina, kad tai yra po skalbimo

nusėdę skalbiklio dalelės, kurios nebuvo pilnai išskalautos. Daugiau matomų pakitimų paviršiaus nuotraukose nematyti.

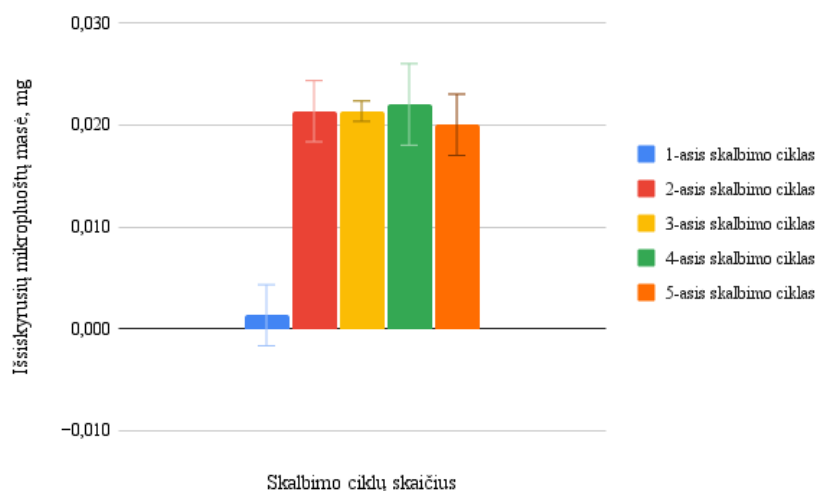
3.3. Išsiskyrusių mikropluoštų analizė

Bandymų metu išsiskyrę mikropluoštai buvo ištirti kiekybiškai, sveriant filtrus prieš ir po filtravimo, ir kokybiškai, analizuojant ant filtrų nusėdusių mikropluoštų morfologiją optinio mikroskopo pagalba. Kiekybinė analizė buvo atliekama daugumoje kitų, sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą analizuojančių tyrimų [15–16, 26–27, 31, 33, 36–42, 44–45]. Kokybinė analizė kituose tyrimuose taip pat buvo dažnai taikoma [14, 16, 26, 27, 37, 40].

3.3.1. Kiekybinė analizė

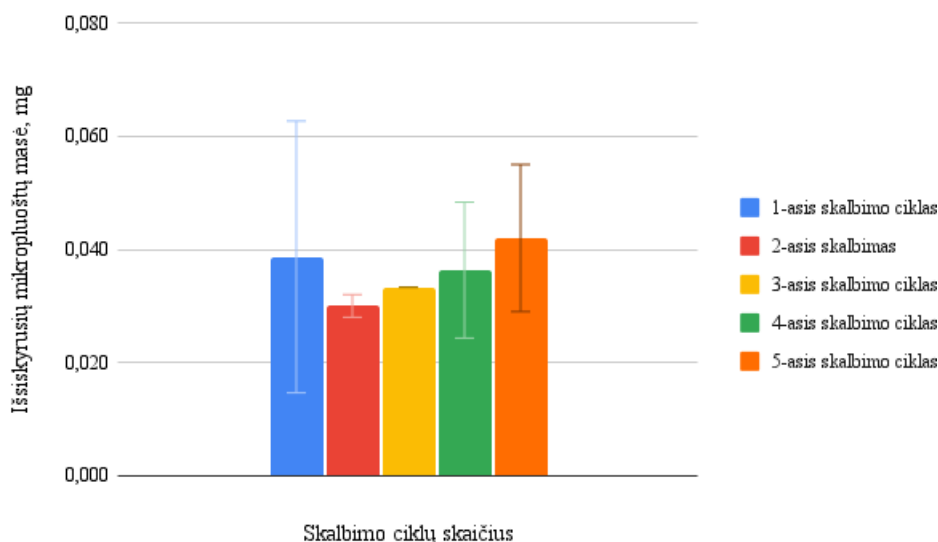
Nustatyti filtrų masių skirtumai (Δm), prieš ir po vandens filtravimo, rodantys nusėdusių ant filtrų mikropluoštų kiekį po kiekvieno skalbimo ciklo, pateikti 3.8–3.18 paveiksluose.

3.8 paveiksle matyti, kad po pirmojo F1 medžiagos skalbimo ciklo išsiskyrė labai mažas mikropluoštų kiekis, nes išsiskyrusių mikropluoštų masės vertė patenka į matavimo paklaidų ribas. Po antrojo skalbimo išsiskyrusių mikropluoštų kiekis ženkliai padidėja. Toks žymus mikropluoštų kiekio padidėjimas galėjo atsirasti dėl to, kad F1 medžiagos struktūra yra tankiausia, todėl pirmojo skalbimo ciklo metu susidaręs mechaninis poveikis nebuvo pakankamai stiprus, kad atlaisvintų mikropluoštus. Antrojo skalbimo ciklo metu pluoštai atsilaisvino, ir juos pradėjo veikti trintis. Po antrojo, trečiojo ir ketvirtojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė buvo panaši, t.y. apie 0,020 mg, tačiau po penktojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė pradėjo mažėti, bet skirtumas palyginti su 2–4-aisiais skalbimo ciklais išliko nereikšmingas, nes pateko į matavimo paklaidų ribas.



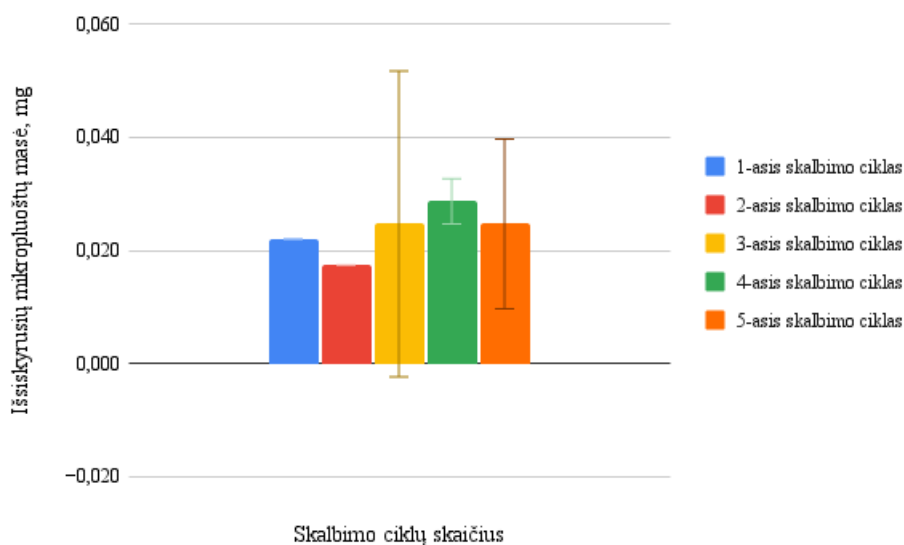
3.8 pav. Iš F1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo

Iš M1 medžiagos (3.9 pav.) išsiskyrusių mikropluoštų masė (Δm) buvo didesnė palyginti su F1 medžiagos atveju. Po kiekvieno iš visų penkių skalbimo ciklų iš M1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė kito paklaidų ribose.



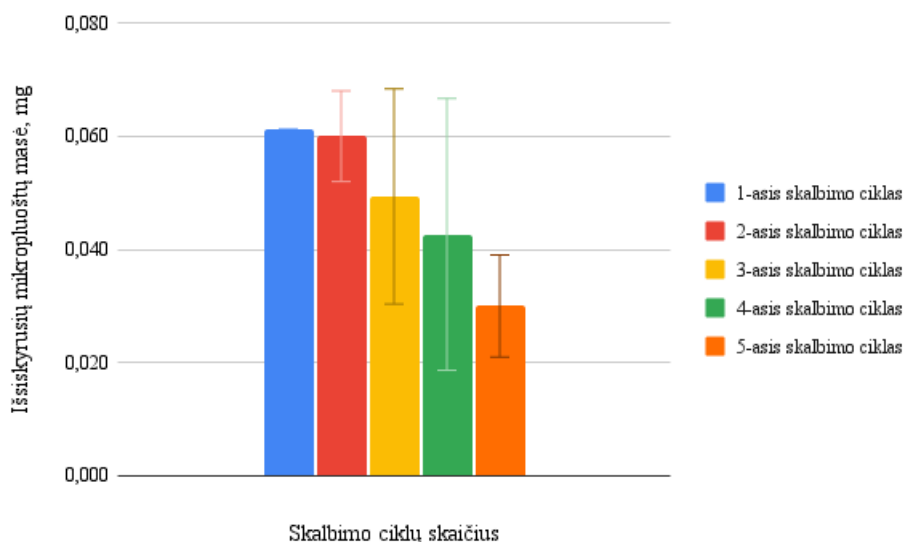
3.9 pav. Iš M1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo

Iš perdirbto poliesterio megztinės medžiagos M2 išsiskiriančių mikropluoštų masė buvo panaši kaip ir F1 megztinės medžiagos atveju ir po kiekvieno iš visų 5 skalbimo ciklų kito matavimo paklaidų ribose (3.10 pav.).



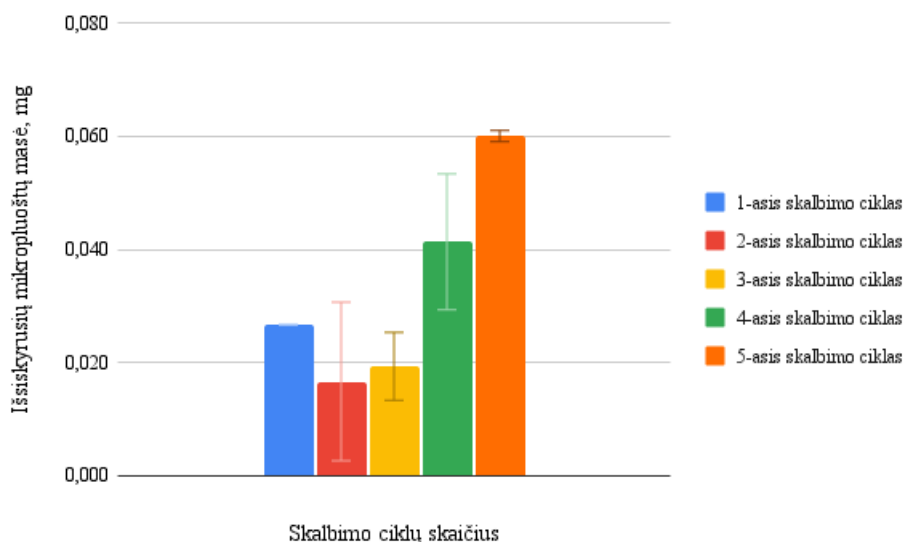
3.10 pav. Iš M2 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo

Iš 90 % poliesterio/10 % elastano megztinės medžiagos M3 po pirmojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė buvo didžiausia, palyginus su kitomis tirtomis medžiagomis, tačiau ji buvo linkusi mažėti po antrojo, trečiojo, ketvirtojo ir penktojo skalbimų ciklų bei prilygo iš F1, M1 ir M2 medžiagų išsiskiriančių mikropluoštų masei (3.11 pav.). Kadangi iš M3 medžiagos daugiausiai mikropluoštų išsiskyrė po pirmojo skalbimo ciklo, ir vėliau jų masė pradėjo mažėti po kiekvieno skalbimo ciklo, galima daryti prielaidą, kad medžiagos eksplotavimo eigoje iš jos išsiskiriančių mikropluoštų masė mažėtų arba netgi visai stabilizuotųsi.



3.11 pav. Iš M3 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo

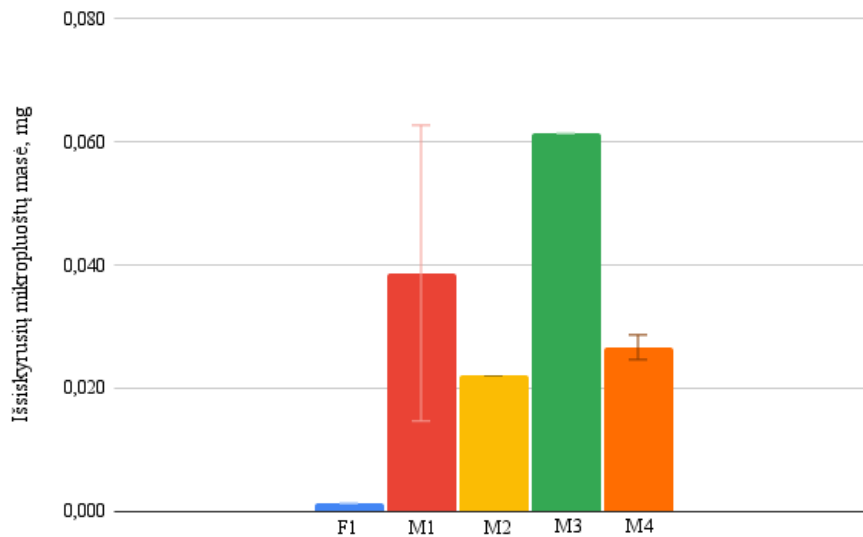
Iš perdirbto poliesterio megztinės medžiagos M4 didžiausia mikropluoštų masė išsiskyrė po penktojo skalbimo ciklo (3.12 pav.). Nors abi, M4 ir M2, megztinės medžiagos buvo pagamintos iš perdirbtų poliesterio pluoštų, tačiau galima daryti prielaidą, kad didesnei iš M4 medžiagos išsiskyrusių pluoštų masei galėjo turėti įtakos didesnis jos paviršinis tankis [64].



3.12 pav. Iš M4 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė po kiekvieno skalbimo ciklo

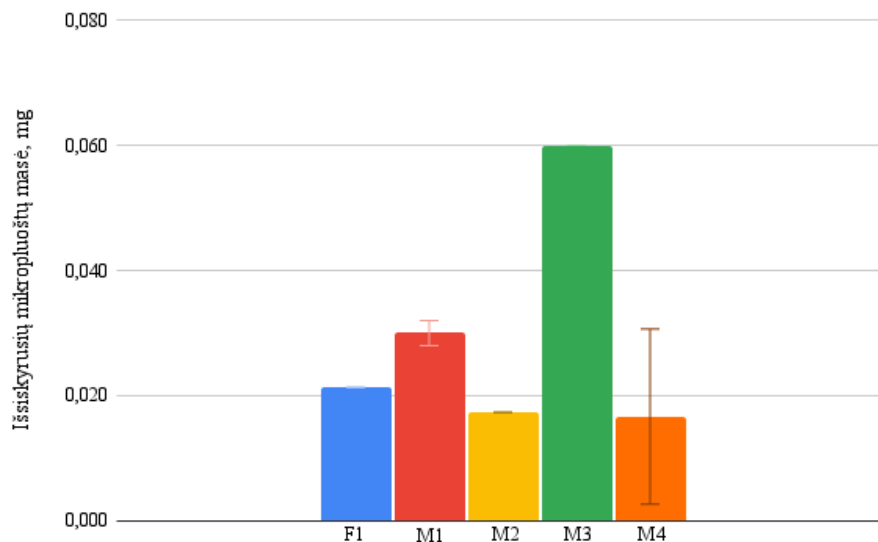
3.13 paveiksle matyti, kad po pirmojo skalbimo ciklo didžiausia išsiskyrusių mikropluoštų masė (0,060 mg) nustatyta M3 medžiagai, o mažiausia – F1 medžiagai. Nedideli ir panašūs tarpusavyje mikropluoštų kiekiai išsiskyrė iš M2 ir M4 medžiagų, kurios yra pagamintos iš perdirbtų pluoštų. Kadangi perdirbti pluoštai yra silpnesni ir mažiau atsparūs mechaniniam poveikiui nei iš pirminių pluoštų pagamintų medžiagų [64], buvo tikėtasi, kad iš šių medžiagų po pirmojo skalbimo ciklo išsiskirs daugiau mikropluoštų, tačiau taip neįvyko. Todėl buvo atlikta kokybinė analizė, kurios metu

detaliau buvo išanalizuoti iš M1, M2 ir M3 poliesterinių medžiagų, kurių tarpe M2 buvo pagaminta iš perdirbtų poliesterinių pluoštų, išsiskyrę mikropluoštai (žr. 3.7). Bendroje iš visų medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų suvestinėje (3.18 pav.) matyti, kad iš M4 medžiagos, kuri taip pat pagaminti iš perdirbtų pluoštų, išsiskyrė daugiau mikropluoštų nei iš medžiagos M2, tačiau tyrimui buvo pasirinkta medžiaga M2. Buvo nuspręsta tirti tų poliesterinių medžiagų mikropluoštus, kurių bendros išsiskyrusių mikropluoštų masės skyrėsi labiausiai.



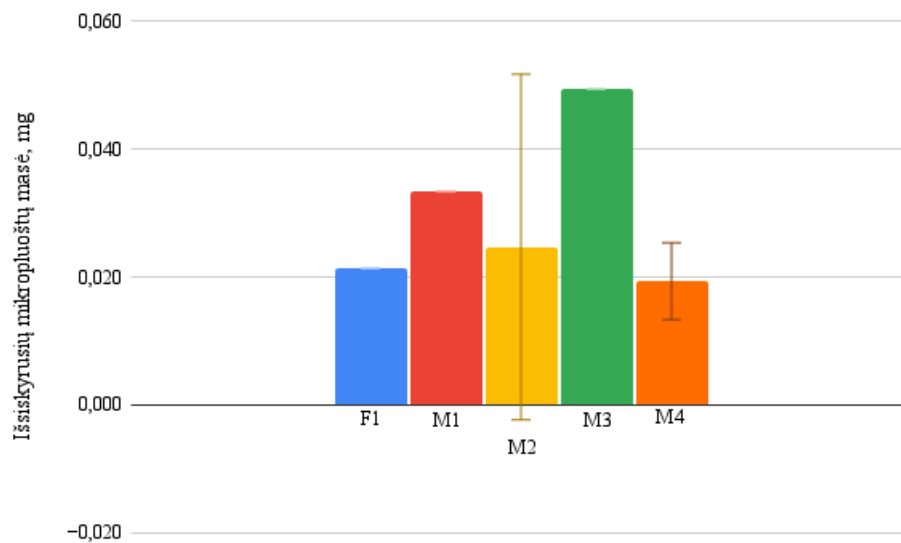
3.13 pav. Po 1-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė

Po antrojo skalbimo ciklo iš M3 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė buvo didžiausia, o likusių medžiagų atvejais išsiskyrusių mikropluoštų masė kito paklaidų ribose (3.14 pav.).



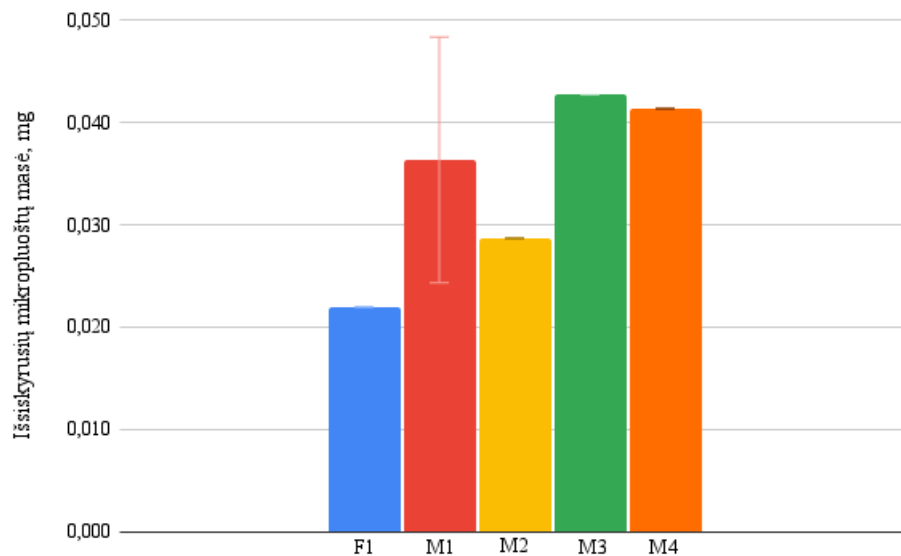
3.14 pav. Po 2-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė

Kaip matyti 3.15 paveiksle, po trečiojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė skirtingų medžiagų atveju kito taip pat paklaidų ribose.



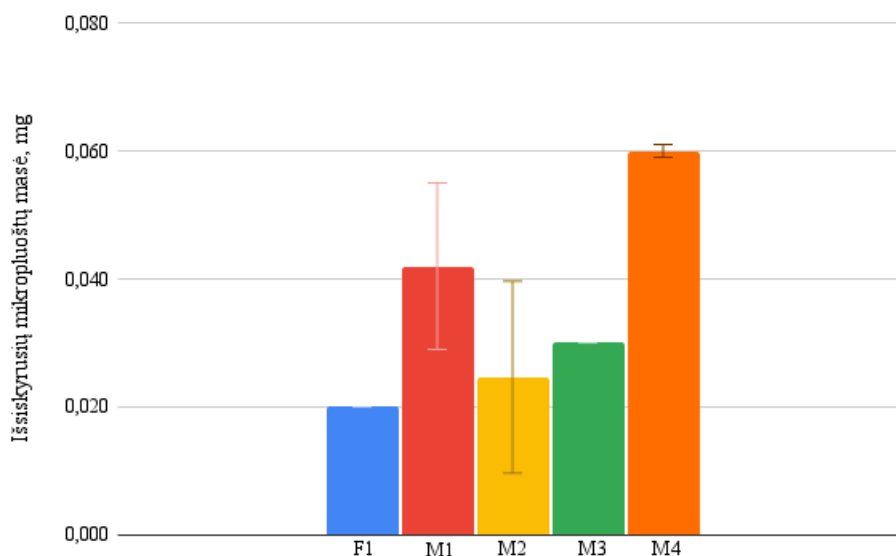
3.15 pav. Po 3-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė

Po ketvirtojo skalbimo ciklo (3.16 pav.) mažiausia išsiskyrusių mikropluoštų masė (0,022 mg) nustatyta F1 medžiagos atvejui. Kitų medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų masė kito paklaidų ribose.



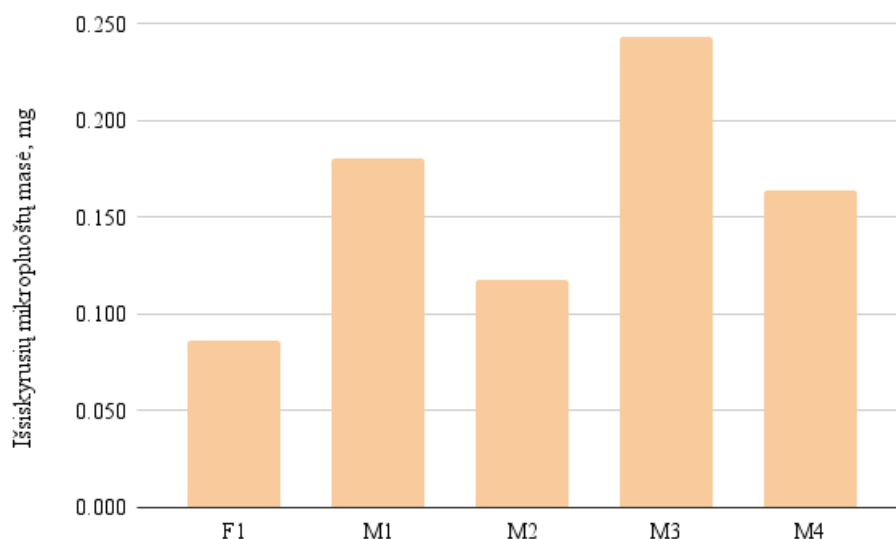
3.16 pav. Po 4-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė

Po penktojo skalbimo ciklo iš F1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė yra mažiausia, bet patenka į iš M2 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masės kitimo ribas (3. 17 pav.). Didžiausia yra iš M4 megztinės medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų masė.



3.17 pav. Po 5-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų masė

3.18 paveiksle matyti, kad po penkių skalbimo ciklų suminė išsiskyrusių mikropluoštų masė buvo didžiausia (0,730 mg) M3 megztinės medžiagos atveju, o mažiausia (0,258 mg) – F1 megztinės medžiagos atveju. Tai galima paaiškinti tuo, kad medžiagos F1 tankumas stulpelių ir eilučių kryptimis yra didesnis nei medžiagos M3 (2.1 lentelė). Nors abi medžiagos yra sudarytos iš vienagijų pluoštų, greičiausiai, dėl tankesnio pynimo, medžiagos F1 pluoštai tarpusavyje patyrė mažesnę trintį skalbimų metu. Be to, svarbu atsižvelgti į tai, kad F1 medžiaga, vienintelė šiame tyrime ne poliesterinė. Dėl šios priežasties reikėtų atlikti papildomus tyrimus, kurių metu būtų palygintos kelios poliamidinės medžiagos.



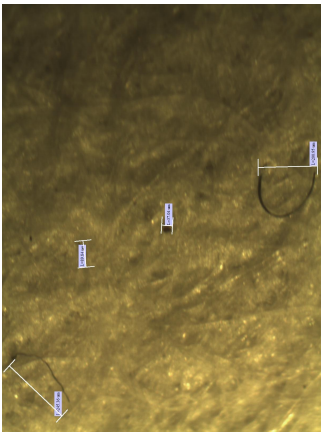
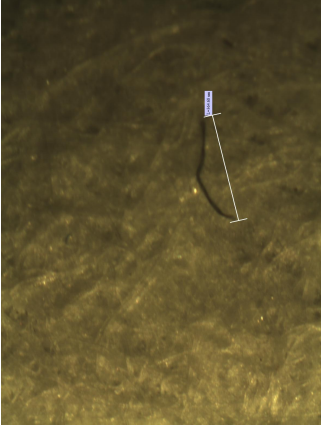
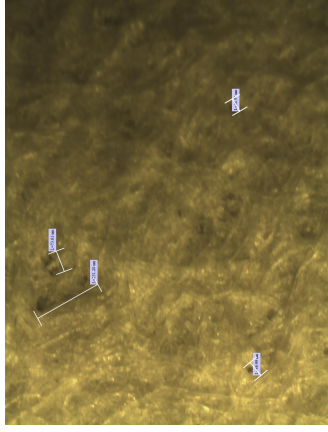
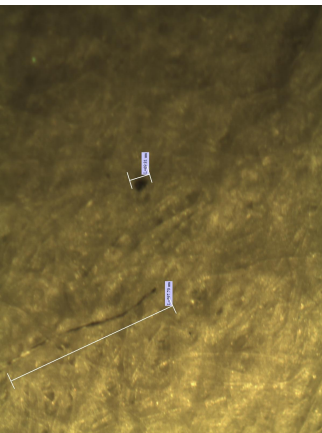
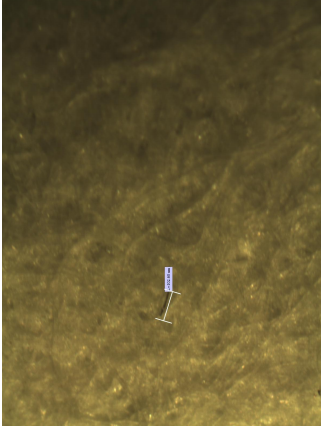
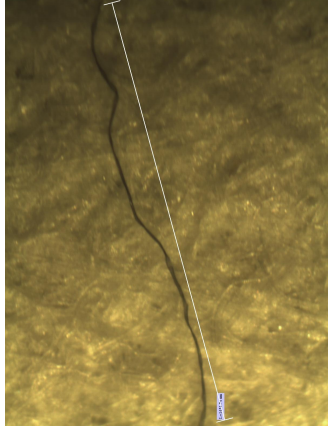
3.18 pav. Suminė po visų penkių skalbimo ciklų išsiskyrusių mikropluoštų masė

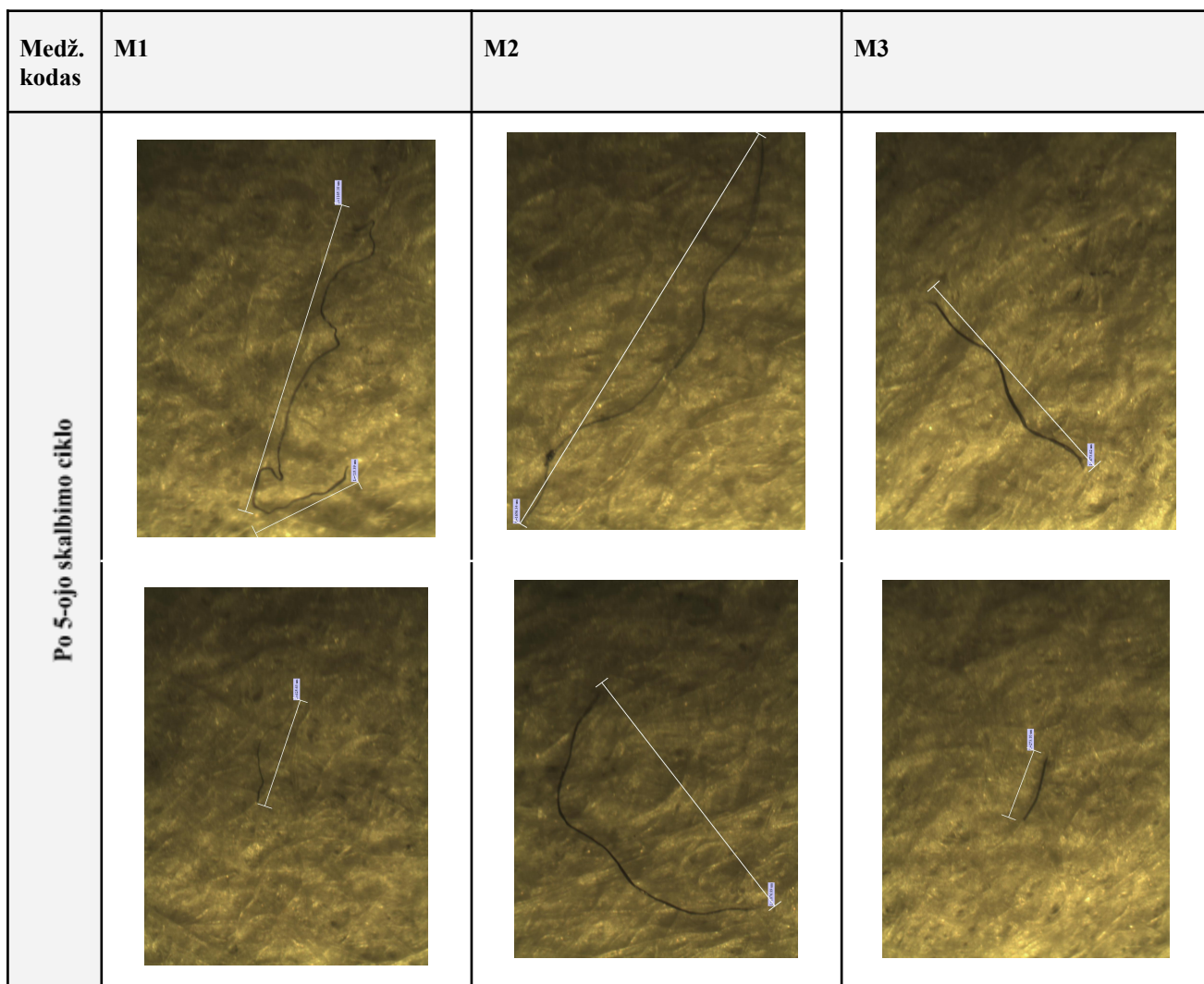
Kaip matyti 3.8–3.18 paveiksluose, iš visų medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų masės skiriasi nors visos medžiagos buvo skalbtos tomis pačiomis sąlygomis. Tai rodo, kad medžiagų pluoštinė sudėtis ir struktūra daro įtaką mikropluoštų išsiskyrimui.

3.3.2. Kokybinė analizė

Optinio mikroskopo pagalba buvo užfiksuotos filtrų su ant jų iš M1, M2 ir M3 megztinių medžiagų po 1-ojo ir po 5-ojo skalbimo ciklą išsiskyrusiais mikropluoštais nuotraukos (3.7 lent.). Nors medžiaga M4, kaip ir medžiaga M2, yra pagaminta iš perdirbtų poliesterinių pluoštų, šiam tyrimui atlikti buvo nuspręsta naudoti tik po vieną tos pačios pluoštinės sudėties sudarytą medžiagą. Bendroje iš visų medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų suvestinėje (3.18 pav.) matyti, kad iš M1, M2 ir M3 medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų bendros masės skyrėsi labiausiai, todėl buvo nuspręsta ištirti ar masės skirtumus galėjo nulemti mikropluoštų charakteristikos.

3.7 lentelė. Filtrų su ant jų iš M1, M2 ir M3 megztinių medžiagų po 1-ojo ir po 5-ojo skalbimo ciklą išsiskyrusiais mikropluoštais optinio mikroskopo nuotraukos

Medž. kodas	M1	M2	M3
Po 1-ojo skalbimo ciklo			
			



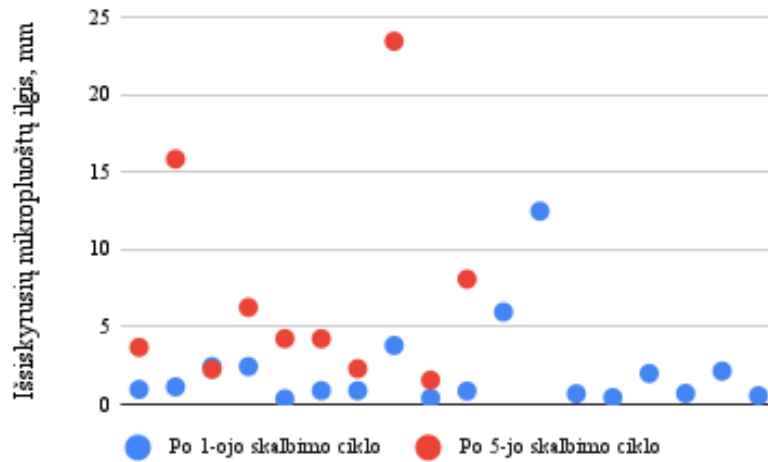
Optiniu mikroskopu užfiksuotose nuotraukose *INFINITY ANALYZE* programos pagalba buvo išmatuoti pavienių mikropluoštų ilgiai (7 priedas) bei apskaičiuotas vidutinis mikropluoštų ilgis (l_v) (3.8 lent.). Sudarytos išsiskyrusių mikropluoštų ilgio sklaidos diagramos (3.19-3.21 pav.) M1, M2 ir M3 medžiagoms po pirmojo ir penktojo skalbimo ciklą. Trumpai aptarta iš kiekvienos medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų morfologija.

Išsiskyrusių mikropluoštų ilgio vidutinių verčių (l_v) lentelėje (3.8 lent.) matyti, kad visų iš visų medžiagų išsiskyrusių mikropluoštų ilgių verčių nustatymo paklaidos po pirmojo ir penktojo skalbimų yra labai didelės, todėl ilgių vidurkių vertes lyginti tarpusavyje netikslinga. Tokios reikšmės galėjo būti gautos ir todėl, kad mikropluoštų ant filtrų buvo ieškoma atsitiktiniu būdu. Tolimesniuose tyrimuose reikėtų sukurti metodiką, kuri leistų suskaičiuoti mikropluoštus visame filtro plote, o ne jo fragmente.

3.8 lentelė. Išsiskyrusių mikropluoštų ilgių vidutinės vertės (l_v)

Medžiagos kodas	M1		M2		M3	
Skalbimo ciklas	1	5	1	5	1	5
l_v, mm	$2,187 \pm 1,473$	$7,205 \pm 5,059$	$2,844 \pm 1,824$	$7,567 \pm 3,531$	$2,230 \pm 2,621$	$2,822 \pm 2,366$

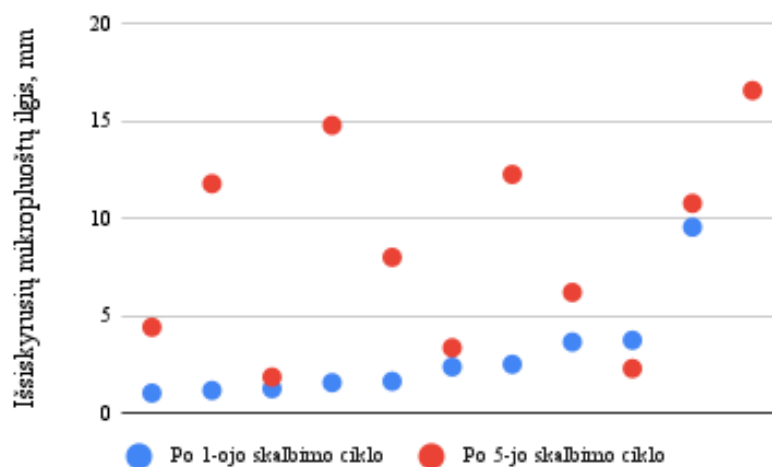
Išsiskyrusių mikropluoštų ilgių sklaidos diagramose matyti, kad nors vidutinės mikropluoštų ilgių (l_v) vertės yra panašios M1 (3.19 pav.) ir M2 (3.20 pav.) medžiagoms, nes kito matavimo paklaidų ribose, tačiau tam tikrus ypatumus galima įžvelgti.



3.19 pav. Iš M1 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis

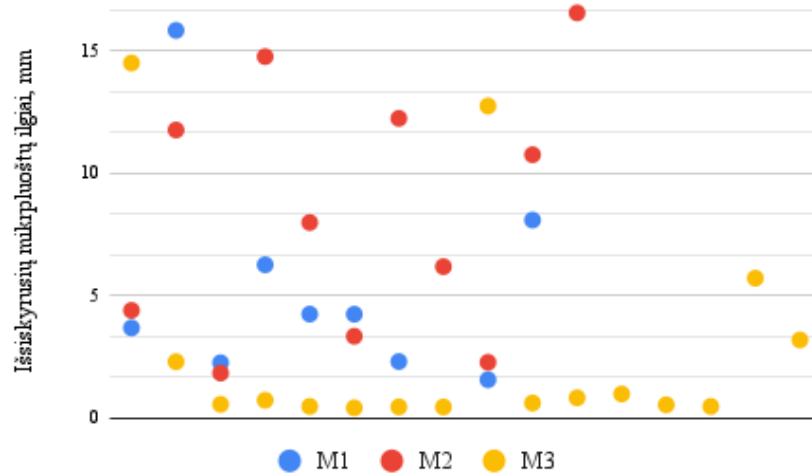
Ant M1 medžiagos išsiskyrusių ir ant filtrų nusėdusių mikropluoštų ilgiai varijavo labiausiai, tačiau, tiek po pirmojo, tiek po penktojo skalbimo ciklo dominavo mikropluoštai, kurių ilgis buvo iki $5 \pm 1,473$ mm. Po pirmojo skalbimo ciklo buvo galima rasti ir šiek tiek ilgesnes, iki $15 \pm 1,473$ mm gijas, tačiau po penktojo skalbimo ciklo iš M1 medžiagos išsiskyrė ir gijos, siekiančios beveik $23 \pm 5,059$ mm. Būtent tokie mikropluoštų ilgių skirtumai po penktojo skalbimo ciklo lėmė didžiausią vidutinę ilgio vertę (l_v).

Iš M2 medžiagos po penktojo skalbimo ciklo išsiskyrė ilgesni mikropluoštai, nei po pirmojo skalbimo ciklo, o ilgiausia rasta gija po penktojo skalbimo ciklo buvo trumpesnė už $2 \pm 3,531$ mm (3.20 pav.).



3.20 pav. Iš M2 medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis

Po penktojo skalbimo ciklo, vyravo ilgesni ant filtrų nusėdę mikropluoštai išsiskyrę iš medžiagų M1, M2 ir M3, nei po pirmojo skalbimo ciklo (3.23 pav.). M3 medžiaga išsiskyrė tuo, kad iš šios medžiagos išsiskyrusių mikropluoštų ilgis mažiausiai skyrėsi jas palyginus po pirmojo ir penktojo skalbimo ciklą, be to, SEM analizės nuotraukose (3.6 lent.) M3 medžiaga taip pat buvo mažiausiai vizualiai pakitusi po penkių skalbimo ciklą, galimai, dėl to, kad M3 medžiaga sudaryta iš 90 % poliesterio ir 10 % elastano pluoštų, kurie pasižymi didelėmis pailgėjimo vertėmis ir dideliu stiprumu tempiant [68].



3.23 pav. Po 5-ojo skalbimo ciklo išsiskyrusių mikropluoštų ilgis

Kaip matyti iš 3.7 lentelėje pateiktų optinio mikroskopo nuotraukų, iš M1 ir M3 medžiagų po pirmojo skalbimo ciklo išsiskyrė daugiau smulkių, taškelių formos mikropluoštų, M2 medžiagos atveju tokių mikropluoštų nematyti, jie yra ilgesni, forma labiau primena gijas.

Po penktojo skalbimo ciklo nei ant vieno filtro nebėra smulkių mikropluoštų, visi mikropluoštai yra pavienės gijos, kurios vizualiai trumpiausios yra M3 medžiagos atveju.

Palyginus kiekybinės ir kokybinės išsiskyrusių mikropluoštų analizių rezultatus matyti, kad po visų skalbimo ciklą iš M2 medžiagos išsiskyrė mažiausia masė mikropluoštų palyginus su M1 ir M3 medžiagų atvejais ir tik joje nebuvo matyti taškelių formos mikropluoštų. Iš medžiagos M3 skalbimo vandens po visų skalbimo ciklą ant filtrų nusėdo didžiausia mikropluoštų masė, ir buvo randama daugiau trumpesnių, taškelių formos mikropluoštų.

Išvados

1. Remiantis literatūros apžvalga buvo identifikuoti sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą lemiantys veiksniai: vandens pH, skalbimo vandens temperatūra, skalbimo trukmė, vandens ir skalbinių santykis bei grežimo intensyvumas. Taip pat nustatyta, kad dar nėra sukurta bendra, mikropluoštų išsiskyrimą iš drabužių skalbimo metu reglamentuojanti standartinė metodika bei surastos vartotojų dažniausiai taikomos skalbimo sąlygos. Sudaryta metodikų suvestinė patvirtino, kad tyrimuose taikomi skalbimo parametrai varijuoja skirtinguose tyrimuose.
2. Anketinės apklausos rezultatai patvirtino, kad skalbimui namuose dažniausiai naudojama iš viršaus pakraunama skalbimo mašina, skalbimo mašinos būgną užpildant 75 %. Dažniausiai parenkama 40 °C skalbimo temperatūra bei 30 min ir 60 min skalbimo trukmės. Vartotojai linkę skalbti be minkštiklio ir naudoti skystą skalbiklį. Dažniausiai taikomas grežimo intensyvumas yra 800 aps./min. Vartotojai beveik niekada neskaito gamintojų pateiktų priežiūros rekomendacijų, o sintetinius drabužius dažniausiai skalbia su kitos pluoštinės sudėties drabužiais.
3. Mikropluoštų išsiskyrimo iš skalbiamų tekstilės medžiagų tyrimo metodikų analizės ir vartotojų apklausos bei sportinės aprangos ir tekstilės medžiagų gamintojų priežiūros rekomendacijų analizės pagrindu sudaryta nesudėtinga, laboratorinėmis sąlygomis įgyvendinama mikropluoštų išsiskyrimo iš tekstilės medžiagų tyrimo ir vertinimo metodika, padedanti įgyvendinti mados pramonei aktualius tvarumo principus. Skalbimui naudota ekonomiška *BROCK WM 3001 WH* mašina bei parinkti optimalūs skalbimo be minkštiklio parametrai: 40 °C skalbimo temperatūra, 30 min skalbimo trukmė, ekologiškas skystas skalbiklis *Agnotis Baby*.
4. Kiekybinė mikropluoštų išsiskyrimo iš skalbiamų megztinių medžiagų analizė parodė, kad iš F1 poliamidinės medžiagos po visų skalbimo ciklų ant filtro nusėdo mažiausia mikropluoštų suminė masė. Didžiausia mikropluoštų suminė masė nustatyta M3 medžiagos atvejui. Po pirmojo skalbimo ciklo mažiausia mikropluoštų masė nusėdo ant F1 medžiagos atveju, o didžiausia – M3; po penktojo skalbimo ciklo mažiausia mikropluoštų masė buvo nustatyta F1 medžiagai, o didžiausia – M4.
5. SEM analizė parodė, kad M1 medžiagos pluoštai buvo storiausi, o medžiagos M2, pagamintos iš perdirbto poliesterio – ploniausi, joje buvo matomi didžiausi tarpai. Vizualiai tolygiausias buvo M3 medžiagos paviršius. Visų medžiagų pluoštai pilnaviduriai. Pluoštų skerspjūvio formos trikampės arba penkiakampės. Po skalbimo ant visų medžiagų matomos skalbiklio dalelės.
6. Atlikus ant filtrų išsiskyrusių mikropluoštų analizę optinio mikroskopo pagalba nustatyta, kad visos išsiskyrusių mikropluoštų vertės kito matavimo paklaidose, tačiau buvo pastebimos ir tam tikros tendencijos. Po penktojo skalbimo ciklo ant filtrų iš M1, M2 ir M3 medžiagų skalbimui naudoto vandens nusėdo ilgiausi mikropluoštų elementai, lyginant su pirmuoju skalbimo ciklu. Ant M1 medžiagos išsiskyrusių ir ant filtrų nusėdusių mikropluoštų ilgiai varijavo labiausiai, o iš medžiagos M3 – mažiausiai.

Literatūros šaltiniai

1. DITCHFIELD, Christin. *The Story Behind Plastic*. Heinemann-Raintree Library, 2011.
2. MAČIONIS, Zenonas. *Visuotinė lietuvių enciklopedija* [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.vle.lt/straipsnis/bakelitas/>
3. DAVIS, Heather. Life & death in the Anthropocene: A short history of plastic. *Art in the anthropocene: Encounters among aesthetics, politics, environments and epistemologies*, 2015, 347-358.
4. DEMEO, Stephen. Dacron polyester: The fall from grace of a miracle fabric. *Science as Culture*, 1996, 5.3: 352-372.
5. EBERT, Bruce C. *Polyester Reigns Again*. Daily Press, 2 April 1989. [žiūrėta 2022-09-05]. Prieiga per: <https://www.dailypress.com/news/dp-xpm-19890402-1989-04-02-8903290157-story.html>
6. *Polyester Fiber Market Share and Statistics* [interaktyvus]. Global Market Insight, September 2021. [žiūrėta 2022 - 09 - 05]. Prieiga per: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/polyester-fiber-market>.
7. LANGLEY, Kenneth D.; KIM, Yong K.; LEWIS, Armand F. Recycling and reuse of mixed-fiber fabric remnants. *Chelsea Center for Recycling, Chelsea Center for Recycling and Economic Development Technical Research Program, Technical Report*, 2000, 17.
8. MUELLER, Rolf-Joachim. Biological degradation of synthetic polyesters—Enzymes as potential catalysts for polyester recycling. *Process Biochemistry*, 2006, 41.10: 2124-2128.
9. THOMPSON, Richard C., et al. Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 2004, 304.5672: 838-838.
10. BROWNE, Mark Anthony, et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 2011, 45.21: 9175-9179.
11. CARRINGTON, Damian. *Microplastics cause damage to human cells, study shows*. The Guardian, 8 December 2021. [žiūrėta 2022-11-05]. Prieiga per: <https://www.theguardian.com/environment/2021/dec/08/microplastics-damage-human-cells-study-plastic>
12. PARKER, Laura. *Microplastics are in our bodies. How much do they harm us?* National Geographic, 25 April 2022. [žiūrėta 2022-11-05]. Prieiga per: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/microplastics-are-in-our-bodies-how-much-do-they-harm-us>
13. CHAN, Emily. *7 Simple Ways To Help Eliminate Microplastics In Your Laundry*. Vogue, 18 July 2020. [žiūrėta 2022-11-05]. Prieiga per: https://www.vogue.co.uk/arts-and-lifestyle/article/microplastics-laundry?utm_medium=Social&utm_source=Facebook#Echobox=1595059803
14. DE FALCO, Francesca, et al. Microfiber release to water, via laundering, and to air, via everyday use: a comparison between polyester clothing with differing textile parameters. *Environmental science & technology*, 2020, 54.6: 3288-3296.

15. NAPPER, Imogen E.; THOMPSON, Richard C. Release of synthetic microplastic plastic fibers from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, 2016, 112.1-2: 39-45.
16. CAI, Yaping, et al. Systematic study of microplastic fiber release from 12 different polyester textiles during washing. *Environmental Science & Technology*, 2020, 54.8: 4847-4855.
17. STANTON, T., et al. (2019). Freshwater and airborne textile fiber populations are dominated by 'natural', not microplastic, fibers. *Science of the Total Environment*, 666, 377-389.
18. CARLSSON, Pernilla, et al. *Understanding the occurrence and fate of microplastics in coastal Arctic ecosystems: the case of surface waters, sediments and walrus (Odobenus rosmarus)*. *Science of The Total Environment*, 2021, 148308.
19. BRANDON, Jennifer; GOLDSTEIN, Miriam; OHMAN, Mark D. Long-term aging and degradation of microplastic particles: comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. *Marine pollution bulletin*, 2016, 110.1: 299-308.
20. MINTENIG, S. M., et al. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from groundwater sources. *Science of the Total Environ- ment*, 648, 631-635.
21. BARCHIESI, Margherita, et al. Presence and fate of microplastics in the water sources: focus on the role of wastewater and drinking water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, 40: 101787.
22. LESLIE, Heather A., et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment international*, 2022, 163: 107199.
23. RAGUSA, Antonio, et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breast Milk. *Polymers*, 2022, 14.13: 2700.
24. RAGUSA, Antonio, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 2021, 146: 106274.
25. ZAMBRANO, Marielis C., et al. Impact of dyes and finishes on the microfibers released on the laundering of cotton knitted fabrics. *Environmental Pollution*, 2021, 272: 115998.
26. CARNEY ALMROTH, Bethanie M., et al. Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and pollution research*, 2018, 25.2: 1191-1199.
27. KELLY, Max R., et al. Importance of water-volume on the release of microplastic fibers from laundry. *Environmental science & technology*, 2019, 53.20: 11735-11744.
28. DALLA FONTANA, Giulia; MOSSOTTI, Raffaella; MONTARSOLO, Alessio. Assessment of microplastics release from polyester fabrics: The impact of different washing conditions. *Environmental Pollution*, 2020, 264: 113960.
29. ZAMBRANO, Marielis C., et al. Microfibers generated from the laundering of cotton, rayon and polyester based fabrics and their aquatic biodegradation. *Marine pollution bulletin*, 2019, 142: 394-407.
30. SUDHESHNA, Aligina Anvitha; SRIVASTAVA, Meenu; PRAKASH, C. Characterization of microfibers emission from textile washing from a domestic environment. *Science of The Total Environment*, 2022, 852: 158511.

31. PERIYASAMY, Aravin Prince. Evaluation of microfiber release from jeans: the impact of different washing conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28.41: 58570-58582.
32. Skalbimo mašinos „Whirlpool WWDC6400“ techninės specifikacijos. [žiūrėta 2022-11-02]. Prieiga per: <https://productz.com/en/whirlpool-wwdc6400/p/DgxVe>
33. VOLGARE, Michela, et al. Washing load influences the microplastic release from polyester fabrics by affecting wettability and mechanical stress. *Scientific reports*, 2021, 11.1: 1-12.
34. LIM, Jungeun, et al. Cause of microfibers found in the domestic washing process of clothing; focusing on the manufacturing, wearing, and washing processes. *Fashion and Textiles*, 2022, 9.1: 1-14.
35. RATHINAMOORTHY, R.; BALASARASWATHI, S. Raja. Investigations on the Interactive Effect of Laundry Parameters on Microfiber Release from Polyester Knitted Fabric. *Fibers and Polymers*, 2022, 23.7: 2052-2061.
36. BELZAGUI, Francisco, et al. Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, 2019, 248: 1028-1035.
37. LANT, Neil J., et al. Microfiber release from real soiled consumer laundry and the impact of fabric care products and washing conditions. *PloS one*, 2020, 15.6: e0233332.
38. HARTLINE, Niko L., et al. Microfiber masses recovered from conventional machine washing of new or aged garments. *Environmental science & technology*, 2016, 50.21: 11532-11538.
39. YANG, Libiao, et al. Microfiber release from different fabrics during washing. *Environmental Pollution*, 2019, 249: 136-143.
40. VASSILENKO, Ekaterina, et al. *Domestic laundry and microfiber pollution: Exploring fiber shedding from consumer apparel textiles*. Plos one, 2021, 16.7: e0250346.
41. CESA, Flavia Salvador, et al. *Laundering and textile parameters influence fibers release in household washings*. Environmental Pollution, 2020, 257: 113553.
42. PIRC, U., et al. Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23.21: 22206-22211.
43. DE FALCO, Francesca, et al. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific reports*, 2019, 9.1: 1-11.
44. COTTON, Lucy, et al. Improved garment longevity and reduced microfibre release are important sustainability benefits of laundering in colder and quicker washing machine cycles. *Dyes and Pigments*, 2020, 177: 108120.
45. MISHRA, Sunanda; DAS, Alok Prasad. Treatment of the Wastewater Polluted with Synthetic Microfiber Released from Washing Machine. In: *Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-2020)--GEO-TRA-ENV-WRM: Conference Proceedings from ICRDSI-2020*. Springer Nature, 2022. p. 109.
46. DE FALCO, Francesca, et al. Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 2018, 236: 916-925.
47. CAI, Yaping. *Microplastics and the Textile Sector: Experimental Studies Concerning the Release from Fabrics and Environmental Risk Assessment in Laundry Care Products*. PhD diss., ETH Zurich, 2021.

48. *The GUPPYFRIEND* gamintojų internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://en.guppyfriend.com/pages/guppyfriend-waschbeutel-faq>
49. *Cora Ball* gamintojų internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://www.coraball.com/pages/getting-started>
50. Plastic Soup Foundation organizacijos internetinė svetainė. *Lint Luv-R* filtro aprašymas. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://www.plasticsoupfoundation.org/en/solutions/lint-luvr/>
51. Jungtinių Tautų internetinė svetainė. Ekonomikos ir socialinių reikalų departamentas. *XFiltra (formerly Project Sea Change) - a washing machine filtration system to remove microparticles, including microplastics, from laundry effluent*. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://sdgs.un.org/partnerships/xfiltra-formerly-project-sea-change-washing-machine-filtration-system-remove>
52. *PlanetCare* filtro gamintojo internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: <https://planetcare.org/pages/closed-loop-solution>
53. KÄRKKÄINEN, Niina; SILLANPÄÄ, Markus. Quantification of different microplastic fibers discharged from textiles in machine wash and tumble drying. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28.13: 16253-16263.
54. MCILWRAITH, Hayley K., et al. Capturing microfibers—marketed technologies reduce microfiber emissions from washing machines. *Marine pollution bulletin*, 2019, 139: 40-45.
55. NAPPER, Imogen E.; BARRETT, Aaron C.; THOMPSON, Richard C. The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing. *Science of The Total Environment*, 2020, 738: 140412.
56. Oficialiosios statistikos portalas. *2021 metų Lietuvos gyventojų skaičius ir sudėtis*. [žiūrėta 2022-12-15]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt>
57. Sportinių drabužių gamintojo *Haltex* internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-12-15]. Prieiga per: <https://www.haltexsports.com/>
58. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN 14971:2006]. Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpų skaičiaus vienetiniame ilgyje ir plotyje nustatymas (LST EN 14971:2006) = Textiles - Knitted fabrics - Determination of number of stitches per unit length and unit are: Europos standartas EN 14971:2006 turi Lietuvos standarto statusą. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
59. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 5084:1999] Tekstilė. Tekstilės medžiagų ir gaminių storio nustatymas (ISO 5084:2000) = Textiles - Determination of thickness of textiles and textile products: Europos standartas EN ISO 5084:1996 turi Lietuvos standarto statusą. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.
60. Skalbimo mašinos *Brock WM 3001* pardavėjo internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-11-15]. Prieiga per: https://www.rde.lt/products/lt/219/1025819/sort/5/filter/0_0_0_0/WM-3001-WH-skalbimo-ma%C5%A1ina.html?gclid=Cj0KCQIAsdKbBhDHARIsANJ6-jcwHaRunLrZwKfiBAMIC413VwLZjnovFSQ13Q_24Joti3q2ubkuOJEaAvELEALw_wcB

61. Skalbimo mašinos *Brock WM 3001* gamintojo dokumentacija. [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.manualslib.com/products/Brock-Wm-3001-Wh-12349497.html>
62. Skalbiklio *Agnotis Baby* gamintojo internetinė svetainė. [žiūrėta 2022-12-15]. Prieiga per: <https://www.agnotis.com/en/product/laundry-detergent>
63. DAUKANTIENĖ, Virginija.; DOMSKIENĖ, J.; VAITKEVIČIENĖ, V. Siuvinių medžiagotyra. Technologija, Kaunas, 2006.
64. UYANIK, Seval. A study on the suitability of which yarn number to use for recycle polyester fiber. *The Journal of the Textile Institute*, 2019, 110.7: 1012-1031.
65. BABAARSLAN, Osman; KAYNAK, H. Kbra. Air permeability of windproof polyester microfilament fabrics at different pressure drop values. In: *The fiber society 2012 spring conference fiber research for tomorrow's applications*. 2012.
66. MARKOVA, Ivana. *Textile fiber microscopy: a practical approach*. John Wiley & Sons, 2019.
67. ALAGIRUSAMY, R.; DAS, A. Yarns: production, processability and properties. In: *Fibrous and composite materials for civil engineering applications*. Woodhead Publishing, 2011. p. 29-61.
68. DHOUIB, A. Babay; EL-GHEZAL, S.; CHEIKHROUHOU, M. A study of the impact of elastane ratio on mechanical properties of cotton wrapped elastane-core spun yarns. *Journal of the Textile Institute*, 2006, 97.2: 167-172.

Priedai

1 priedas. Vartotojų apklausa

Skalbimas namų sąlygomis

Sveiki, esu KTU Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto magistrantūros studentė. Šiuo metu atlieku mokslinį tyrimą apie sintetinių mikropluoštų išsiskyrimą skalbiant sintetinius drabužius namuose. Nors mikropluoštai išsiskiria ir skalbiant iš natūralių pluoštų pagamintus drabužius (pvz. medvilninių, vilninių ir pan.), tačiau tokie mikropluoštai nekelia pavojaus, kadangi patekę aplinką, jie natūraliai suyra. Laisvalaikio ir sporto apranga dažniausiai yra pagaminta iš sintetinių, pvz., poliesterinių (PES), poliamidinių (PA), poliakrilinių (PAN) ir kitų pluoštų tekstilės medžiagų. Skalbiant tokią, iš sintetinių medžiagų pagamintą aprangą, kartu su vandens nuotekomis į aplinką patenka ir sintetiniai mikropluoštai (mikroplastikai), kurie neigiamai veikia aplinką ir žmonių sveikatą, nes natūraliai gamtoje nesuyra. Todėl atliekamas tyrimas yra aktualu mados pramonei ir vartotojams, siekiantiems įgyvendinti mados tvarumo principus.

Šios apklausos klausimai yra skirti vartotojams, kurie turi bent vieną iš sintetinių medžiagų pagamintą laisvalaikio ar sporto kostiumą.

Apklausos tikslas yra išsiaiškinti, kaip dažnai ir kokiomis sąlygomis yra skalbiami iš sintetinių medžiagų pagaminti drabužiai.

Apibendrinti apklausos rezultatai bus panaudoti, rengiant magistro baigiamąjį projektą bei pristatyti mokslinėje konferencijoje.

Visa surinkta informacija bus skelbiama anonimiškai ir jokia Jūsų asmeninė informacija nebus renkama.

1. Ar sportuojate? (Jei į šį klausimą atsakėte "Ne", 2-ąjį, 3-ąjį ir 4-ąjį klausimus praleiskite).

Taip

Ne

2. Kiek kartų per savaitę sportuojate? (Į šį klausimą atsakykite, jeigu į 1-ąjį klausimą atsakėte "Taip".)

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- 1 kartą per savaitę
- 2 kartus per savaitę
- 3 kartus per savaitę
- 4 kartus per savaitę
- 5 kartus per savaitę
- Daugiau kaip 5 kartus per savaitę

3. Ar sporto metu dėvite sintetinių medžiagų sportinį kostiumą ir kiek jų turite? Sportinis kostiumas gali būti sudarytas iš: 1) palaidinės/marškinėlių ir kelnių; 2) palaidinės/marškinėlių tamprų; 3) džemperio ir kelnių; 4) džemperio ir tamprų; kt. (Į šį klausimą atsakykite, jeigu į ąjį klausimą atsakėte "Taip".)

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Neturiu sportinio kostiumo (Sporto metu dėviu laisvalaikiui skirtus drabužius.)
- Turiu 1 sportinį kostiumą.
- Turiu 2 sportinius kostiumus.
- Turiu 3 sportinius kostiumus.
- Turiu 4 sportinius kostiumus.
- Turiu 5 sportinius kostiumus.
- Turiu daugiau kaip 5 sportinius kostiumus.

4. Po kelių treniruočių skalbiate sintetinį sportinį kostiumą ar sintetinę laisvalaikio aprangą?

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Skalbiu po vienos treniruotės
- Skalbiu po dviejų treniruočių
- Skalbiu po trijų treniruočių
- Kita: _____

5. Ar sintetinius sportinius ir laisvalaikio drabužius, skalbiate su kitais iš sintetinių medžiagų pagamintais drabužiais?

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Skalbiu visada tik su sintetiniais drabužiais.
- Skalbiu visada su įvairios sudėties drabužiais.
- Neskalbiu niekada su kitais ne sporto metu dėvėtais drabužiais.

6. Ar prieš skalbdami sintetinius drabužius perskaitote gaminio priežiūros etiketę ir skalbiate pagal joje nurodytas instrukcijas?

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Taip, visada skalbiu pagal gaminio priežiūros etiketėje nurodytas instrukcijas.
- Ne, niekada neskalbiu pagal gaminio priežiūros etiketėje nurodytas instrukcijas.
- Kita: _____

7. Kokiu būdu skalbiate sintetinius sportinius ir laisvalaikio drabužius, dėvėtus sporto metu?

Pažymėkite visus tinkančius atsakymus.

- Buitinėje skalbimo mašinoje, pakraunamoje iš viršaus.
- Buitinėje skalbimo mašinoje, pakraunamoje iš šono.
- Rankomis.
- Neskalbiu (naudojuosi drabužių valymo paslaugomis). (Jeigu pasirinkote tik šį variantą, į tolimesnius klausimus galite nebeatsakinėti).

8. Nurodykite (jei galite), kokio gamintojo ir kokio modelio buitinę skalbimo mašiną naudojate

9. Ar sintetinių sportinių ir laisvalaikio drabužių, dėvėtų sportuojant, skalbimo metu naudojate skalbimo priemones? Kokias? (Jeigu naudojate.)

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Nenaudoju jokių skalbimo priemonių.
- Naudoju birius skalbimo miltelius.
- Naudoju skalbimo kapsules.
- Naudoju skystus skalbiklius.
- Kita: _____

10. Nurodykite (jei galite), kokio gamintojo skalbimo priemones naudojate.

11. Ar sintetinių drabužių skalbimo metu naudojate skalbinių minkštiklį?

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Naudoju kiekvieno skalbimo metu.
- Naudoju tik laisvalaikio drabužiams skalbti.
- Naudoju tik sportiniams drabužiams skalbti.
- Nenaudoju niekada.
- Kita: _____

12. Nurodykite (jei galite), prašau, kokio gamintojo skalbinių minkštiklius naudojate.

13. Kokios temperatūros vandenyje dažniausiai skalbiate sintetinius sportinius ir laisvalaikio drabužius, dėvėtus sporto metu?

Pažymėkite vieną labiausiai tinkantį atsakymą.

- Žemesnės už 20°C
- 20°C
- 30°C
- 40°C
- 60°C
- 90°C

2 priedas. Metodikų suvestinė

a) Skalavimo sąlygų suvestinė

Literatūros šaltinis	Skalavimo sąlygos							
	Skalavimo įrenginys	Vandens tūris, ml	Temperatūra, °C	Trukmė, min	Gręžimo intensyvumas, aps./min	Skalavimo ciklai	Skalavimo tipas	Minkštiklis
ALMROTH, Bethanie M. Carney, et al. [26]	Laboratorinė įranga	125 + 10 (perskalavimas)	60	30			Skystas	N/A
BELZAGUI, Francisco, et al. [36]	Pakraunama iš šono	22000 (skalvimas), 3 x 10 (filtravimas)		15	1000	5	Skystas	N/A
CAI, Yaping, et al. [16]	Laboratorinė įranga	500	40	45		10	LAS laboratorijos skalbiklis	
Cai, Yaping. [47]	Laboratorinė įranga	600 (skalvimas), 10 (filtravimas)	23 - 27 °C	90			LAS laboratorijos skalbiklis	
CESA, Flavia Salvador, et al. [41]	Pakraunama iš šono	20000	- 24	40	72	10	Jokio / Skystas	N/A
COTTON, Lucy, et al. [44]	Pakraunama iš šono		25 / 40	30 / 85	1600		Skalavimo kapsulė	Skalavimo kapsulėje
DALLA FONTANA, Giulia; MOSSOTTI, Raffaella; MONTARSOLO, Alessio. [28]	Pakraunama iš viršaus	50000-60000	40 / 30 / 30	90 / 43 / 43	1400 / 600 / 600		Skystas	Ne
DE FALCO, Francesca, et al. [46]	Laboratorinė įranga	15000	40 / 60	45 / 90		3	Jokio / skystas / milteliai	Taip / Ne
DE FALCO, Francesca, et al. [14]	Pakraunama iš šono	-40000-60000	40	107	1200	10	Skystas	N/A
DE FALCO, Francesca, et al. [43]	Pakraunama iš šono	-4000-6000	40	107	1200	10	Skystas	N/A
HARTLINE, Niko L., et al. [38]	Pakraunama iš viršaus	43000	29.6 / 29-41	30 / 24	1200	10		
YANG, Libiao, et al. [39]	Pakraunama iš viršaus	1500	30 / 40 / 60	15			Skystas	Ne
KELLY, Max R., et al. [27]	Pakraunama iš šono	0	30 / šaltas	60 / 15	200	4	Skystas	Ne
LANT, Neil J., et al. [37]	Europietiškas: pakraunama iš šono / Amerikietiškas: pakraunama iš viršaus	Europietiškas: 4000 / Amerikietiškas: 64000 / 30000	Europietiškas: 40 ir 15 / Amerikietiškas: 27	Europietiškas: 85 ir 30 / Amerikietiškas: 18 ir 47	Europietiškas: 1600 / Amerikietiškas:		Europietiškas: skystas ir kapsulės Ariel® 3in. / Amerikietiškas: kapsulės	Taip
LIM, Jungeun, et al. [34]	Laboratorinė įranga	625, 1000	20, 40	60		10	Jokio	Ne
MISHRA, Sunanda; DAS, Alok Prasad. [45]	Nepaminėta	40000-50000 (skalvimas), 1000 (filtravimas)						
NAPPER, Imogen E. and Richard C. THOMPSON. [15]	Pakraunama iš šono		40 / 30	75	1400		Jokio / skystas / bio-skaidus	Taip / Ne
NAPPER, Imogen E.; BARRETT, Aaron C.; THOMPSON, Richard C. [55]	Pakraunama iš šono						Ne	Ne
PERIYASAMY, Aravin Prince. [31]	Pakraunama iš šono		30 / 45 / 60	60 / 75 / 90	1200 / 1400		Skystas / milteliai	Taip / Ne
PIRC, U., et al. [42]	Pakraunama iš šono		30	15	600	10	Skystas	Taip / Ne
SUDHESHNA, Aligina Anvitha; SRIVASTAVA, Meenu; PRAKASH, C. [30]	Pakraunama iš šono, pakraunama iš viršaus	40000-50000 (skalvimas), 50 (filtravimas)	Šaltas				Skystas	
VASSILENKO, Ekaterina, et al. [40]	Pakraunama iš viršaus	10000				5	Jokio	
VOLGARE, Michela, et al. [33]	Pakraunama iš šono	40000-50000	40	107	1200	3	Jokio / skystas / skystas (mažesnis koncentracijos)	Taip / Ne
ZAMBRANO, Marielis C., et al. [29]	Pakraunama iš viršaus	150	46			3		Ne

b) Tirtų medžiagų ir tyrimo metodikų suvestinė

Literatūros šaltinis	Medžiagos			Tyrimo metodika	
	Medžiagų grupė	Pluoštinė sudėtis	Bandiniai	mikropluoštų surinkimo būdas	mikropluoštų vertinimo analizė
ALMROTH, Bethanie M. Carney, et al. [26]	Megztinė	Akrilas, poliamidas, poliesteris	10 × 10 cm, išpjauta lazeriu	Stiklinis filtras (1.2 μm)	Kokybinė, kiekybinė
BELZAGUI, Francisco, et al. [36]	Megztinė, audinys	Poliesteris, akrilas, poliamidas	Drabužiai	Poliamidinis filtras (20 μm); T = 60 °C, t = 24 h.	Kokybinė, kiekybinė
CAL, Yaping, et al. [16]	Megztinė, audinys	Poliesteris	4 × 10 cm / 10 × 10 cm, išpjauta lazeriu arba apsiūta	Popierinis filtras (0,45 μm); t = 12 h, kambario temperatūroje	Kokybinė
Cai, Yaping. [47]	Megztinė, audinys	Poliesteris		Filtrinis popierius (0,45 μm); t = 12 h, kambario temperatūroje	Kokybinė
CESA, Flavia Salvador, et al. [41]	Megztinė	Akrilas, poliesteris, poliamidas	Nauji drabužiai (buvo naudoti 4 vieno gaminio modeliai)	Skalbimo mašinos filtras (450 μm), du papildomi nerūdijančio plieno filtrai (500 μm and 63 μm), popierinis filtras (8 μm); t = 12 h, T = 60 °C	Kiekybinė
COTTON, Lucy, et al. [44]	Megztinė	Poliesteris/medvilnė	5 × 5 cm, bandiniai prisegti prie 27 × 30 cm medvilninio pluošto megztinės medžiagos	Poliamidinis (20 μm), filtrinis popierius (22 μm); T = 50 °C, t = 12 h	Kiekybinė
DALLA FONTANA, Giulia; MOSSOTTI, Raffaella; MONTARSOLO, Alessio. [28]	Megztinė	Poliesteris	Bandinių kraštai suklijuoti	Poliamidinis filtras (40 μm); t = 105 °C, T = 0,5 h	Kiekybinė, kokybinė
DE FALCO, Francesca, et al. [46]	Megztinė, audinys	Poliesteris	9 × 9,30 cm, kraštai apsiūti medvilniniu siūlu	Polivinilideno fluoridinis (PVDF) filtras (5 μm); T = 105 °C, t = 0,5 h	Kiekybinė, kokybinė
DE FALCO, Francesca, et al. [14]	Megztinė, audinys	Poliesteris, poliesteris/medvilnė	Nauji drabužiai (4 vieno gaminio modeliai)	Naudota 4 filtrų sistema (400, 60, 20 μm);	Kiekybinė, kokybinė
DE FALCO, Francesca, et al. [43]	Megztinė, audinys, mišrus	Poliesteris, perdirbtas poliesteris, poliesteris/medvilnė/modalus	Nauji drabužiai (4 vieno gaminio modeliai)	Naudota 4 filtrų sistema (400, 60, 20 μm);	Kiekybinė, kokybinė
HARTLINE, Niko L., et al. [38]	Megztinė, audinys	Poliamidas, perdirbtas poliesteris, poliesteris	Nauji drabužiai (vyriški M dydžio)	Du nailoniniai filtrai (333 μm, 20 μm);	Kiekybinė, kokybinė
YANG, Libiao, et al. [39]	Audinys	Poliesteris/poliamidas/acetatas		PTFE filtras (5 μm)	Kiekybinė, kokybinė
KELLY, Max R., et al. [27]	Megztinė	Poliesteris	5 × 5 cm (išpjauta lazeriu)	Poliamidinis filtras (20 μm), filtrinis popierius (22 μm); t = 24 h, T = 50 °C	Kokybinė
LANT, Neil J., et al. [37]	Megztinė, audinys	Mišrus	Drabužiai	Poliamidinis filtras (20 μm), filtrinis popierius (22 μm); T = 50 °C, t = 12 h	Kiekybinė, kokybinė
LIM, Jungeun, et al. [34]	Audinys	Poliesteris	10 × 10 cm, apsiūti kraštai	Du nerūdijančio plieno filtrai (500 μm ir 40 μm), filtrinis popierius (1 μm)	Kiekybinė
MISHRA, Sunanda; DAS, Alok Prasad. [45]	Mišrus	Mišrus		Filtrinis popierius; T = 50 °C, t = 12 h	Kokybinė
NAPPER, Imogen E. and Richard C. THOMPSON. [15]	Megztinė	Poliesteris, akrilas, poliesteris/medvilnė	20 × 20 cm, palenkta 0,5 cm naudojant medvilninį siūlą (po 5 vienos sudėties bandinius)	Poliamidinis filtras (25 μm), filtrinis popierius (20-25 μm); T = 30 °C	Kokybinė
NAPPER, Imogen E.; BARRETT, Aaron C.; THOMPSON, Richard C. [55]	Audinys				
PERIYASAMY, Aravin Prince. [31]	Audinys	Poliesteris, poliesteris/medvilnė	Nauji džinsai	Nerūdijančio plieno filtras (200 μm), PTFE filtras (5 μm);	Kokybinė, kiekybinė
PIRC, U., et al. [42]	Audinys	Poliesteris	120 × 70 cm	Nerūdijančio plieno (85 mm, 200 × 200 μm). Filtras džiovinamas atmosferos sąlygomis.	Kokybinė, kiekybinė
SUDHESHNA, Aligina Anvitha; SRIVASTAVA, Meenu; PRAKASH, C. [30]	Mišrus	Mišrus; keturių šeimų ūkių įvairūs skalbiniai	Drabužiai	Du stikliniai filtrai (2,7 μm ir 0,7 μm)	Kokybinė, kiekybinė
VASSILENKO, Ekaterina, et al. [40]	Megztinė, audinys	Poliesteris, poliamidas, poliesteris/poliamidas	66 x 66 cm (palenkti kraštai)	Filtras (5 μm), polikarbonatinis filtras (20 μm); T = 50 °C, t = 12 h	Kokybinė, kiekybinė
VOLGARE, Michela, et al. [33]	Megztinė medž.	Poliesteris		Skalbimo mašinos filtras (400 μm), trys nailoniniai filtrai (60, 20 ir 5 μm); T = 105 °C, t = 1 h;	Kiekybinė
ZAMBRANO, Marielis C., et al. [29]	Megztinė	Poliesteris, poliesteris/medvilnė	~10 x 10 cm, kraštai apsiūti poliesteriniu siūlu	Poliamidinis filtras (20 μm), filtrinis popierius (1,2 μm); T = 105 °C, t = 12 h	Kiekybinė

3 priedas. Bandinių storis prieš ir po skalbimo ir statistiniai parametrai

a) Bandinių storis (mm) prieš skalbimą ir statistiniai parametrai

Medž. kodas	F1			M1			M2		
Bandinio nr.	1	2	3	4	5	6	1	2	3
I.	0,60	0,57	0,60	0,58	0,57	0,56	0,49	0,49	0,48
II.	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,51	0,51	0,49
III.	0,61	0,61	0,61	0,58	0,56	0,55	0,49	0,49	0,48
IV.	0,61	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,49	0,51	0,49
V.	0,62	0,61	0,59	0,56	0,54	0,53	0,49	0,48	0,48
Aritmetinis vidurkis, mm	0,60			0,57			0,49		
Vid. kvad. nuokrypis,	0,01			0,02			0,01		
Variacijos koef., %	1,97			3,74			2,16		
Absoliutinė paklaida, mm	0,03			0,05			0,03		
Santykinė paklaida, %	4,99			9,46			5,46		

Medž. kodas	M3			M4		
Bandinio nr.	1	2	3	1	2	3
I.	0,62	0,62	0,61	0,64	0,65	0,68
II.	0,65	0,62	0,64	0,68	0,67	0,67
III.	0,62	0,62	0,62	0,66	0,64	0,66
IV.	0,62	0,63	0,63	0,69	0,69	0,64
V.	0,62	0,63	0,62	0,69	0,65	0,67
Aritmetinis vidurkis, mm	0,62			0,67		
Vid. kvad. nuokrypis	0,01			0,02		
Variacijos koef., %	1,59			2,78		
Absoliutinė paklaida, mm	0,03			0,05		

Santykinė paklaida, %	4,01	7,02
------------------------------	------	------

b) Bandinių storis (mm) po skalbimo ir statistiniai parametrai

Medž. kodas	F1			M1			M2		
Bandinio nr.	1	2	3	4,00	5,00	6,00	1	2	3
I.	0,62	0,63	0,6	0,59	0,57	0,55	0,51	0,52	0,52
II.	0,62	0,61	0,63	0,62	0,63	0,64	0,52	0,5	0,49
III.	0,64	0,62	0,62	0,60	0,59	0,58	0,51	0,5	0,5
IV.	0,62	0,61	0,62	0,57	0,55	0,52	0,5	0,5	0,51
V.	0,63	0,62	0,63	0,59	0,58	0,56	0,5	0,49	0,5
Aritmetinis vidurkis, mm	0,62			0,54			0,50		
Vid. kvad. nuokrypis	0,01			0,03			0,01		
Variacijos koef., %	1,59			5,96			1,96		
Absoliutinė paklaida, mm	0,03			0,08			0,03		
Santykinė paklaida, %	4,03			15,09			4,96		

Medž. kodas	M3			M4		
Bandinio nr.	1	2	3	1	2	3
I.	0,69	0,70	0,68	0,66	0,68	0,68
II.	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69
III.	0,69	0,69	0,65	0,67	0,69	0,68
IV.	0,68	0,68	0,68	0,67	0,67	0,67
V.	0,66	0,70	0,66	0,67	0,69	0,67
Aritmetinis vidurkis, mm	0,68			0,68		
Vid. kvad. nuokrypis	0,02			0,01		
Variacijos koef., %	2,32			1,50		

Medž. kodas	M3	M4
Absoliutinė paklaida, mm	0,04	0,03
Santykinė paklaida, %	5,88	3,78

4 priedas. Sportinės aprangos gamintojo *Audimas* drabužių priežiūros rekomendacijos

Pavadinimas	Nuoroda	Sudėtis	Priežiūra
Tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/tampres-3/?modification=14385	78 % perdirbtas poliamidas/22 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti; Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas negalimas.
„Formuojančios“ tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/formuojancios-tampres-6/?modification=14213	80 % poliamidas/20 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas žemesnėje temperatūroje.
Funkcinės tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/funkcionalios-tampres-6/?modification=14112	78 % perdirbtas poliesteris/22 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas žemesnėje temperatūroje.
Margintos „formuojančios“ tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/margintos-formuojancios-tampres-4/?modification=14111	78 % perdirbtas poliesteris/22 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas žemesnėje temperatūroje.
7/8 ilgio funkcinės tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/7-8-ilgio-funkcionalios-tampres/?modification=14068	75 % poliamidas/25 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas žemesnėje temperatūroje.
„Formuojančios“ tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/formuojancios-tampres-4/?modification=13980	62 % poliamidas/38 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 40 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Profesionalus sausasis valymas tetrachloretilenu ir angliavandeniliais. Būgninis džiovinimas negalimas.

Pavadinimas	Nuoroda	Sudėtis	Priežiūra
„Formuojančios“ SENSITIVE tamprės su tinklelio det.	https://www.audimas.lt/katalogas/formuojancios-sensitive-tampres-su-tinklelio-det/?modification=13970	59 % poliamidas/41 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 40 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas negalimas.
Blizgios funkcinės tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/blizgios-funkcionalios-tampres/?modification=13969	80 % poliamidas/20 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 40 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Profesionalus sausasis valymas tetrachloretilenu ir angliavandeniliais. Būgninis džiovinimas negalimas.
3/4 ilgio margintos „formuojančios“ tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/3-4-ilgio-margintos-funkcionalios/?modification=13549	77 % poliamidas/23 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas negalimas.
Margintos funkcinės tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/margintos-funkcionalios-tampres-6/?modification=13967	70 % perdirbtas poliamidas/30 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 40 °C. Nebalinti. Aukščiausia lygintuvo pagrindo temperatūra – 110 °C. Nenaudoti sausojo valymo. Būgninis džiovinimas negalimas.
3/4 ilgio funkcinės tamprės	https://www.audimas.lt/katalogas/3-4-ilgio-funkcionalios-tampres-2/?modification=8978	83 % poliesteris/27 % elastanas;	Normalus skalbimas, aukščiausia temperatūra – 30 °C. Nebalinti Nelyginti. Profesionalus sausasis valymas tetrachloretilenu ir angliavandeniliais. Būgninis džiovinimas žemesnėje temperatūroje.

5 priedas. Tekstilės medžiagų gamintojų rekomenduojama skalbimo temperatūra

Medž. kodas	F1	M1	M2	M3	M4
Temperatūra	40 °C	30 °C	30 °C	40 °C	40 °C

6 priedas. Filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistiniai parametrai

a) Medžiagos F1 filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistinės parametrai

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absolutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
1	m ₁	1,188	1,156	1,186	1,177	0,018	1,523	0,045
	m ₂	1,188	1,156	1,190	1,178	0,019	1,620	0,048
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,001			 0,003
2	m ₁	1,216	1,226	1,148	1,197	0,042	3,547	0,107
	m ₂	1,238	1,248	1,168	1,218	0,044	3,579	0,110
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,021			 0,003
3	m ₁	1,206	1,244	1,242	1,231	0,021	1,738	0,054
	m ₂	1,228	1,266	1,262	1,252	0,021	1,668	0,053
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,021			 0,001
4	m ₁	1,196	1,246	1,196	1,213	0,029	2,380	0,073
	m ₂	1,218	1,266	1,220	1,235	0,027	2,199	0,069
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,022			 0,004
5	m ₁	1,128	1,220	1,182	1,177	0,046	3,929	0,117
	m ₂	1,146	1,240	1,204	1,197	0,047	3,963	0,120
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,020			 0,003

b) Medžiagos M1 filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistinės parametrai

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absolutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
1	m ₁	1,136	1,230	1,194	1,187	0,047	3,997	0,120
	m ₂	1,164	1,276	1,236	1,225	0,057	4,632	0,144
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,039			 0,024
2	m ₁	1,144	1,170	1,216	1,177	0,036	3,099	0,092
	m ₂	1,172	1,202	1,246	1,207	0,037	3,085	0,094
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,030			 0,002
3	m ₁	1,204	1,218	1,140	1,187	0,042	3,502	0,105
	m ₂	1,234	1,254	1,174	1,221	0,042	3,411	0,105
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,033			 0,000
4	m ₁	1,254	1,204	1,168	1,209	0,043	3,573	0,109
	m ₂	1,296	1,238	1,201	1,245	0,048	3,846	0,121
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,036			 0,012
5	m ₁	1,216	1,184	1,220	1,207	0,020	1,635	0,050
	m ₂	1,260	1,220	1,266	1,249	0,025	2,003	0,063

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absoliutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,042			0,013

c) Medžiagos M2 filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistinės parametrai

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absoliutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
1	m ₁	1,166	1,226	1,200	1,197	0,030	2,513	0,076
	m ₂	1,186	1,244	1,228	1,219	0,030	2,457	0,076
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,022			0,000
2	m ₁	1,236	1,176	1,222	1,211	0,031	2,591	0,079
	m ₂	1,254	1,194	1,238	1,229	0,031	2,529	0,079
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,017			0,000
3	m ₁	1,198	1,228	1,220	1,215	0,016	1,278	0,039
	m ₂	1,212	1,264	1,244	1,240	0,026	2,115	0,066
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,025			0,027
4	m ₁	1,190	1,202	1,240	1,211	0,026	2,156	0,066
	m ₂	1,216	1,232	1,270	1,239	0,028	2,238	0,070
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,029			0,004
5	m ₁	1,130	1,164	1,178	1,157	0,025	2,133	0,062
	m ₂	1,148	1,192	1,206	1,182	0,030	2,561	0,077
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,025			0,015

d) Medžiagos M3 filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistinės parametrai

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absoliutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
1	m ₁	1,202	1,222	1,174	1,199	0,024	2,010	0,061
	m ₂	1,262	1,284	1,236	1,261	0,024	1,906	0,061
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,061			0,000
2	m ₁	1,242	1,194	1,132	1,189	0,055	4,637	0,139
	m ₂	1,304	1,256	1,188	1,249	0,058	4,665	0,147
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,060			0,008
3	m ₁	1,186	1,214	1,192	1,197	0,015	1,231	0,037
	m ₂	1,238	1,272	1,230	1,247	0,022	1,789	0,056
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,049			0,019
4	m ₁	1,234	1,202	1,176	1,204	0,029	2,413	0,073
	m ₂	1,282	1,252	1,206	1,247	0,038	3,071	0,097

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absoliutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,043			 0,024
5	m ₁	1,182	1,208	1,182	1,191	0,015	1,261	0,038
	m ₂	1,210	1,242	1,210	1,221	0,018	1,514	0,047
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,030			 0,009

e) Medžiagos M4 filtrų masės prieš ir po filtravimo ir statistinės parametrai

Skalbimo ciklas	Filtro masė, mg	Bandinio nr.			Aritmetinis vidurkis, mg	Vid. kvad. nuokrypis	Variacijos koef., %	Absoliutinė paklaida, mg
		I.	II.	III.				
1	m ₁	1,202	1,204	1,230	1,212	0,016	1,289	0,040
	m ₂	1,230	1,228	1,258	1,239	0,017	1,354	0,042
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,027			 0,002
2	m ₁	1,166	1,160	1,210	1,179	0,027	2,316	0,069
	m ₂	1,188	1,178	1,220	1,195	0,022	1,835	0,055
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,017			 0,014
3	m ₁	1,144	1,148	1,178	1,157	0,019	1,607	0,047
	m ₂	1,166	1,162	1,200	1,176	0,021	1,776	0,053
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,019			 0,006
4	m ₁	1,188	1,236	1,18	1,201	0,030	2,521	0,077
	m ₂	1,244	1,302	1,238	1,261	0,035	2,802	0,089
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,060			 0,012
5	m ₁	1,222	1,230	1,200	1,217	0,016	1,276	0,039
	m ₂	1,284	1,296	1,266	1,282	0,015	1,178	0,038
	Išsiskyrusių mikropluoštų masė, mg				0,065			 0,001

7 priedas. Mikropluoštų ilgių vertės ir statistiniai parametrai

Medž. kodas.	M1		M2		M3	
Skalbimo ciklas	I	V	I	V	I	V
Išsiskyrusių mikropluoštų ilgis, mm	0,9761	3,6937	1,026	4,4094	0,4363	14,5174
	1,1411	15,849	1,1622	11,7794	0,4459	2,312
	2,4536	2,2686	1,252	1,8487	0,6386	0,5699
	2,4536	6,2732	1,5605	14,7769	0,6885	0,7361
	0,3704	4,2563	1,6296	7,9986	0,748	0,4851
	0,8984	4,2523	2,3711	3,3522	0,848	0,4273
	0,8984	2,3187	2,5045	12,2543	2,5274	0,4654
	3,8171	23,46	3,6468	6,1968	2,731	0,4617
	0,4153	1,5759	3,7413	2,2871	11,0022	12,76
	0,8721	8,099	9,5472	10,7689		0,624
	5,977			16,5634		0,836
	12,4869					0,9929
	0,6981					0,5495
	0,452					0,4841
	2,0095					5,7247
	0,721					3,2007
2,159						
0,5723						
Aritmetinis vidurkis, mm	2,187	7,205	2,844	7,567	2,230	2,822
Vid. kvad. nuokrypis	2,944	7,073	2,550	5,157	3,404	4,464
Variacijos koef., %	134,582	98,177	89,650	68,143	152,684	158,193
Absoliutinė paklaida, mm	1,473	5,059	1,824	3,531	2,621	2,366
Santykinė paklaida, %	67,323	70,215	64,117	46,668	117,567	83,842