



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Plastiko kiekio mažinimo PET butelio kokybei vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Mindaugas Tičkus
Projekto autorius

Lekt. Ingrida Venytė
Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Plastiko kiekio mažinimo PET butelio kokybei vertinimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Mindaugas Tičkus

Projekto autorius

Lekt. Ingrida Venytė

Vadovė

Lekt. Laura Gegeckienė

Recenzentė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Mindaugas Tičkus

Plastiko kiekio mažinimo PET butelio kokybei vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) 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 mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Mindaugas Tičkus

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui – Mindaugui Tičkui

1. Projekto tema –

Plastiko kiekio mažinimo PET butelio kokybei vertinimas

(Lietuviškai)

Evaluation of Plastic Reduction for PET Bottle Quality

(Angliškai)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: įvertinti plastiko kiekio mažinimo įtaką PET butelio kokybei.

Uždaviniai:

1. įvertinti plastikinių butelių gamybos proceso galimybes;
2. atlikti PET butelio sienelių storio matavimus;
3. atlikti PET butelio atsparumo gniuždymui tyrimus;
4. įvertinti plastiko kiekio mažinimo įtaką aplinkai;
5. atlikti PET butelių su sumažintu plastikumu gamybos ekonominį vertinimą.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

Atliekant bandymus, tiriamasis objektas, tai yra buteliai, turi būti pagaminti iš tokio pat tipo PET plastiko. Butelis turi atlaikyti 90 N gniuždymo jėgos apkrovą remiantis gamintojo nurodymais.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma

Projekto autorius

Mindaugas Tičkus

2023-10-02

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vadovė

Ingrida Venytė

2023-10-02

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovė

Regita Bendikienė

2023-10-02

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Tičkus, Mindaugas. Plastiko kiekio mažinimo PET butelio kokybei vertinimas. Magistro baigiamasis projektas, vadovė lekt. Ingrida Venytė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: PET; polimerai; butelis; sienelių storis; gniuždymas; atsparumas.

Kaunas, 2024. 52 p.

Santrauka

Siekiant atlikti kokybės vertinimą PET buteliams, kuriems sumažintas plastiko kiekis, analizuojami galimi butelių gamybos procesai. PET butelių gamybai pasirinkti 35,7 g, 32,5 g ir 29,5 g masės ruošiniai, iš kurių gaminami 1,0 l tūrio kvadratiniai buteliai ištempimo ir išpūtimo technologija. Pagamintų butelių kokybei įvertinti atliekami butelio sienelių storio matavimai, gniuždymo tyrimai, kurie parodo butelio atsparumą gniuždymui iki deformacijos, kai pasikeičia butelio geometrija. Remiantis gautais butelio sienelių storio matavimų ir gniuždymo bandymų rezultatais, įvertinama, kokią įtaką butelio kokybei turi plastiko kiekio sumažinimas PET ruošiniuose. Atlikus PET butelių kokybės vertinimą, apskaičiuojama, kokią įtaką plastiko kiekio sumažinimas turi aplinkai, taip pat atliekamas gamybos ekonominis įvertinimas apskaičiuojant butelio gamybos kainos kitimą, remiantis skirtingos masės ruošinių kaina.

Tičkus, Mindaugas. Evaluation of Plastic Reduction for PET Bottle Quality. Master's Final Degree Project, supervisor lect. Ingrida Venytė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: PET; polymers; bottle; wall thickness; load test; strength.

Kaunas, 2024. 52 p.

Summary

In order to perform quality assessment of PET bottles which have reduced plastic content possible bottle production processes are analyzed. For the production of PET bottles 35,7 g, 32,5 g, 29,5 g masses preforms was chosen of which 1,0 l square bottles will be produced with stretch blow molding technology. Wall thickness measurements and top load tests are performed to assess the quality of the bottles which shows the resistance of the bottle to the top load force until bottle deformation when the geometry of bottle changes. Based on the results of the wall thickness and top load tests for PET bottles quality assessment is done to find what impact for quality have reduced plastic content in PET preforms. After PET bottle quality assessment calculations are performed to identify what kind of impact plastic quantity has for the environment as well as the economic evaluation of production in calculating the cost of the bottle production price is also performed on the basis of the price of different mass preforms.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Butelių gamybos pramonės analizė.....	11
1.1. Medžiagos naudojamos butelių gamyboje	11
1.2. Plastikinių butelių gamybos technologijų analizė	13
1.2.1. Ekstruzijos technologija	13
1.2.2. Įpurškimo formavimo technologija	14
1.2.3. Ištempimo ir pūtimo technologija	15
1.3. Susidarančių plastiko atliekų analizė.....	17
1.4. Skyriaus apibendrinimas	19
2. PET butelio atsparumo gniuždymui tyrimas.....	20
2.1. Bandinių paruošimas	20
2.1.1. Įranga bandinių gamybai	22
2.2. Tyrimo metodikos sudarymas	27
2.2.1. Vizualinė PET butelių patikra	27
2.2.2. PET butelio sienelių storių matavimas	27
2.2.3. PET butelio gniuždymo tyrimai	28
2.3. Skyriaus apibendrinimas	31
3. Projekto rezultatai ir sprendimai.....	32
3.1. Matavimų ir vizualinės patikros rezultatai	32
3.2. PET butelio sienelių matavimų rezultatai.....	35
3.3. Gniuždymo tyrimo rezultatai.....	39
3.3.1. Butelių be kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai	39
3.3.2. Butelių su kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai.....	43
3.3.3. Gniuždymo tyrimų palyginimas	46
3.4. Skyriaus apibendrinimas	47
4. Socio-ekonominė, aplinkosaugos dalis.....	48
4.1. Aplinkosauginė dalis	48
4.2. Ekonominė dalis	48
4.3. Skyriaus apibendrinimas	49
Išvados	50
Literatūros sąrašas	51
Priedai.....	53
1 priedas. „Kosme“ butelių gamintojo gniuždymo jėgos nurodymai.....	53
2 priedas. 29,5 g butelių sienelių matavimo rezultatai	54
3 priedas. 32,5 g butelių sienelių matavimo rezultatai	55
4 priedas. 35,7 g butelių sienelių matavimo rezultatai	56

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Ruošinių matmenys [20]	21
2 lentelė. Butelių gamybos iš 35,7 g ruošinio gamybos parametrai.....	25
3 lentelė. Butelių gamybos iš 32,5 g ruošinio gamybos parametrai.....	25
4 lentelė. Butelių gamybos iš 29,5 g ruošinio gamybos parametrai.....	26
5 lentelė. Bandinių paskirstymas.....	30
6 lentelė. Standartinės ruošinių masės	31
7 lentelė. 29,5 g butelio matavimo rezultatai	32
8 lentelė. 32,5 g butelio matavimo rezultatai	33
9 lentelė. 35,7 g butelio matavimo rezultatai	34
10 lentelė. Apskaičiuoti 29,5 g butelių sienelių storio vidurkiai	36
11 lentelė. Apskaičiuoti 32,5 g butelių sienelių storio vidurkiai	37
12 lentelė. Apskaičiuoti 35,7 g butelių sienelių storio vidurkiai	38
13 lentelė. Butelių sienelių storio rezultatai.....	39
14 lentelė. 1 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	40
15 lentelė. 2 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	41
16 lentelė. 3 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	42
17 lentelė. Butelių be kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai	42
18 lentelė. 4 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	43
19 lentelė. 5 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	44
20 lentelė. 6 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai.....	45
21 lentelė. Butelių su kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai.....	45
22 lentelė. 29,5 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai	46
23 lentelė. 32,5 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai	46
24 lentelė. 35,7 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai	47
25 lentelė. Butelių gamybos analizė.....	48
26 lentelė. Ruošinių rinkos kaina	49
27 lentelė. Kainų palyginimas.....	49

Paveikslų sąrašas

1 pav. PET buteliai [2]	11
2 pav. HDPE buteliai [6]	12
3 pav. LDPE buteliai [9]	13
4 pav. Pagrindiniai ekstruzijos formavimo technologijos žingsniai [13].....	14
5 pav. Įpurškimo formavimo procesas [11]	15
6 pav. PET butelių gamybos proceso blokinė diagrama [16]	16
7 pav. Pakuočių atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui [22].....	18
8 pav. Pakuočių atliekos [22].....	18
9 pav. Ruošiniai 1 – 29,5 g; 2 – 32,5 g; 3 – 35,7 g.	20
10 pav. Ruošinio matmenų schema [26]	21
11 pav. Butelių pūtimo įranga [27]	22
12 pav. K6R1611 pūtimo įrangos schema	22
13 pav. 1,0 l tūrio PET butelio pūtimo forma	23
14 pav. Pūtimo stotis.....	24
15 pav. K6R1611 pūtimo įrangos valdymo skydas	24
16 pav. 1,0 l PET butelis.....	27
17 pav. Skaitmeninis mikrometras	28
18 pav. Supjaustytas PET butelis (A – viršus, B – vidury, C – apačia.)	28
19 pav. Tinius Olsen H10KT įranga [28]	29
20 pav. Paruošta gniuždymo įranga	29
21 pav. Deformuotas PET butelis	30
22 pav. 29,5 g butelio nuotrauka.....	33
23 pav. 32,5 g butelio nuotrauka.....	34
24 pav. 35,7 g butelio nuotrauka.....	35
25 pav. 29,5 g butelių sienelių storis.....	36
26 pav. 32,5 g butelių sienelių storis.....	37
27 pav. 35,7 g butelių sienelių storis.....	38
28 pav. 1 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (29,5 g butelio be kamštelio)	40
29 pav. 2 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (32,5 g butelio be kamštelio)	41
30 pav. 3 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (35,7 g butelio be kamštelio)	42
31 pav. 4 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (29,5 g butelio su kamštelio)	43
32 pav. 5 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (32,5 g butelio su kamštelio)	44
33 pav. 6 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (35,7 g butelio su kamštelio)	45

Įvadas

Pasaulyje, sparčiai augant visuomenei, auga ir jų poreikiai kaip vartotojų, siekiančių patenkinti savo poreikius. Padidėjusius vartotojų poreikius siekianti patenkinti pramonė, taip pat turi tobulinti ir keisti pasenusias gamybos technologijas naujesnėmis, kurios būtų našesnės. Dėl augančios pramonės padidėjo ir suvartojamų žaliavų kiekis, kuris išgaunamas iš natūralių gamtos išteklių.

Viena iš sparčiausiai augančių pramonės šakų yra plastiko ar plastikinių produktų gamybos sektorius. Plastiko gaminiai yra neišvengiami šiuolaikiniame pasaulyje. Tačiau paminėtina, kad plastiko neapdairus ir gausus vartojimas kelia nerimą aplinkosaugai ir rūpestį, kai kalbama apie žmonių sveikatą. Viena iš pagrindinių problemų yra plastikinių butelių naudojimo mastas ir su jų gamyba susijęs plastiko kiekis, kuris neperdirbtas gali patekti į mūsų aplinką. Butelių, pagamintų iš plastiko, populiarumas yra neabejotinas – jie yra patogūs, lengvi, o jų gamyba yra pigi. Plastikiniai buteliai yra gaminami perdirbant naftos produktus. Naftos perdirbimo ir plastiko gamybos procesai atlieka didelį vaidmenį teršiant aplinką. Paminėtina, kad dauguma plastikinių butelių yra panaudojami tik vieną kartą, o po to panaudoti buteliai dažnai nukeliauja į sąvartynus arba patenka į aplinką, kurioje išlieka labai ilgą laiką iki kol suyra.

Maisto pramonės sektorius yra vienas iš gamybos sektorių, kuris naudoja plastikinius butelius savo gamybos procesuose. Plačiau bus aptariama gėrimų pramonė, kuri naudoja butelius, pagamintus iš plastiko gaiviesiems gėrimams ar vandeniui išpilstyti. Gėrimų pramonėje taip pat gali būti naudojama tara, pagaminta iš aliuminio ar stiklo, tačiau populiariausia pakuotė yra plastikinė, nes jos gamybos išlaidos nėra didelės. Dėl išaugusio vartotojų poreikio daugiau pagaminama butelių iš plastiko, kurie vėliau patenka į sąvartynus. Dėl šios priežasties reikia ieškoti būdų, kaip būtų galima sumažinti suvartojamo plastiko kiekį gėrimų pramonėje gaminant plastikinius butelius. Šiame darbe bus analizuojamas 1 l tūrio kvadratinis PET butelis naudojamas gėrimų pramonėje išpilstant negazuotą vandenį. Atliekant bandymus bus siekiama įvertinti, kokią įtaką butelio kokybei turės plastiko kiekio sumažinimas PET butelio gamybos procese.

Tikslas - įvertinti plastiko kiekio mažinimo įtaką PET butelio kokybei.

Uždaviniai:

1. įvertinti plastikinių butelių gamybos proceso galimybes;
 2. atlikti PET butelio sienelių storio matavimus;
 3. atlikti PET butelio gniuždymo tyrimus;
 4. įvertinti plastiko kiekio mažinimo įtaką aplinkai;
 5. atlikti PET butelių su sumažintu plastikumu gamybos ekonominį vertinimą.
- Hipotezė: plastiko kiekio sumažinimas PET butelyje gali sumažinti daromą poveikį aplinkai.

1. Butelių gamybos pramonės analizė

Gėrimų pramonėje buteliai gali būti pagaminti iš įvairių medžiagų, taip pat jų gamybai gali būti taikyta ir kitų įvairių gamybos technologijų. Butelių gamybos technologijos skiriasi savo sudėtingumu bei naudojamomis medžiagomis. Tai turi įtakos gamybos išlaidoms ir dėl to skiriasi tam tikrų produktų kainos. Šiame skyriuje bus atliekama įvairių butelių gamybos technologijų, taip pat medžiagų, naudojamų buteliams gaminti, analizė.

1.1. Medžiagos naudojamos butelių gamyboje

Gaminant butelius gėrimų pramonėje gali būti panaudotos įvairios medžiagos: polimerai, metalai, stiklas arba populiarėjančios biologiškai suyrančios medžiagos, tačiau jų panaudojimas šiuo metu yra nedidelis dėl prastesnių kokybinių rodiklių lyginant su kitomis medžiagomis. Šiame poskyryje plačiau bus apžvelgiamos polimerinės medžiagos, naudojamos butelių gamybos procese.

Dažniausiai naudojama medžiaga gaminant pakuotes gėrimų pramonėje yra įvairūs polimerai: polietileno tereftalatas (PET), didelio tankio polietilenas (HDPE), mažo tankio polietilenas (LDPE), polipropilenas (PP). Siekiant žiedinės ekonomikos, gėrimų pramonės sektoriuje populiarėja ir perdirbti polimerai – perdirbtas polietileno tereftalatas (rPET), perdirbtas didelio tankio polietilenas (rHDPE) – kurie panaudojami naujų butelių gamybai.

Polietileno tereftalas yra vienas iš dažniausiai naudojamų termoplastinių polimerų iš poliesterių šeimos. Šis plastikas naudojamas maisto pramonės sektoriuje pakuotėms, buteliams gaminti, taip pat naudojamas ir kitose pramonės šakose, pavyzdžiui, termoformavimo procesuose gaminant įvairių formų ir paskirties gaminius. PET – tvirtas, skaidrus, polimeras, pasižymintis geromis barjerinėmis savybėmis nuo dujų ir drėgmės [1]. Tai leidžia esantį viduje produktą apsaugoti nuo aplinkos veiksnių, kurie gali pakenkti kokybei. PET polimeras naudojamas buteliams gaminti, nes pasižymi geromis termoforminėmis savybėmis, kas leidžia šį plastiką greitai įkaitinti ir taikant tam tikrą norimą technologiją jį išformuoti į tam tikro tūrio ir dizaino butelį, kuris vėliau bus naudojamas produktui sufasuoti ir realizuoti. Toliau esančiame 1 paveiksle pateikiami dviejų skirtingų tūrių ir dizainų PET buteliai.



1 pav. PET buteliai [2]

Iš PET pagaminti buteliai naudojami negazuotiems bei gazuotiems produktams, kurie yra prisotinti anglies dioksido, nes šios rūšies plastikas neleidžia viduje esančioms dujoms prasiskverbti į aplinką iki kol produktas nebus atidarytas. Taip pat PET buteliai geba atlaikyti susidarantį vidinį slėgį

plečiantis dujoms, esančioms produkte [3]. Polietileno tereftalatą galima perdirbti į rPET ir panaudoti naujų produktų gamybai, taip palaikant žiedinės ekonomikos principus ir siekiant sumažinti į aplinką patenkančias plastiko atliekas [4].

Didelio tankio polietilenas yra sudarytas iš mažai šakotų ilgų molekulių, kurios tarpusavyje suglunda labai tankiai ir tarp molekulių susidaro tarpmolekulinės traukos ryšiai [5]. HDPE taip pat yra termoplastinis polimeras, todėl HDPE kaip ir PET gerai pasisavina šilumą. Tai leidžia šį plastiką išformuoti į įvairias formas ir pritaikyti įvairių produktų gamybai, pavyzdžiui, buteliams, skirtiems maisto pramonės produktams ar skysčiams saugoti, vamzdžiams, žaislams bei kitiems gaminams gaminti. Didelio tankio polietilenas pasižymi geromis apsauginėmis savybėmis nuo išorinių aplinkos veiksnių, taip pat turi gerą cheminį atsparumą, kas leidžia produktus išlaikyti ilgesnį terminą tinkamam naudojimui. Toliau esančiame 2 paveiksle pateikiami buteliai, pagaminti iš HDPE. Iš pateikto paveikslo galima matyti, kad buteliai pagaminti iš HDPE polimero yra baltos spalvos, taip pat gali būti įvairių tūrių ir formų.



2 pav. HDPE buteliai [6]

HDPE plastiką taip pat galima 100 % perdirbti į rHDPE ir panaudoti naujų produktų gamybai mažinant naujos žaliavos išgavimo kiekį bei sumažinti į sąvartynus patenkančių atliekų kiekį apsaugant aplinką nuo papildomos taršos [7].

Mažo tankio polietilenas yra sudarytas iš šakotų makromolekulių, kurios dėl savo sudėtingos struktūros tarpusavyje nesuglunda. Dėl šios priežasties tarpmolekulinės traukos jėgos sąlyginai yra mažos, todėl šis polimeras pasižymi savo minkštumu ir tįsumu [8]. LDPE, kaip ir anksčiau minėti plastikai, yra termoplastikas, todėl šis polimeras naudojamas įvairių pakuočių gamyboje maisto ir chemijos pramonėje, nes taip pat pasižymi geromis cheminio atsparumo savybėmis, todėl šiose pakuotėse galima laikyti įvairias chemines medžiagas. Toliau esančiame 3 paveiksle pateikiami LDPE buteliai. Iš paveikslo galima matyti, kad buteliai pagaminti iš LDPE yra permatomi, tačiau nėra tokie skaidrūs kaip buteliai, pagaminti iš PET. LDPE buteliai taip pat gali būti gaminami įvairių tūrių.



3 pav. LDPE buteliai [9]

LDPE plastikas nepasižymi tokiomis geromis perdirbimo savybėmis lyginant su PET ar HDPE polimerais, todėl šios rūšies plastikas yra rečiau perdirbamas ir panaudojamas naujų produktų gamyboje [10].

Polipropilenas – tai chemiškai atspari medžiaga, pasižyminti geromis dielektrinėmis savybėmis, ir yra lengvesnė lyginant su kitais plastikais [11]. PP plastikas yra atsparus šarmams, rūgštims, korozijai, nesugeria drėgmės. Šis plastikas taip pat atitinka visus maisto saugai keliamus reikalavimus, todėl gali būti naudojamas kartu su maisto produktais. Paminėtina, kad dėl cheminio atsparumo savybių šis plastikas dažniausiai naudojamas chemijos pramonėje įvairioms talpoms, instrumentams gaminti.

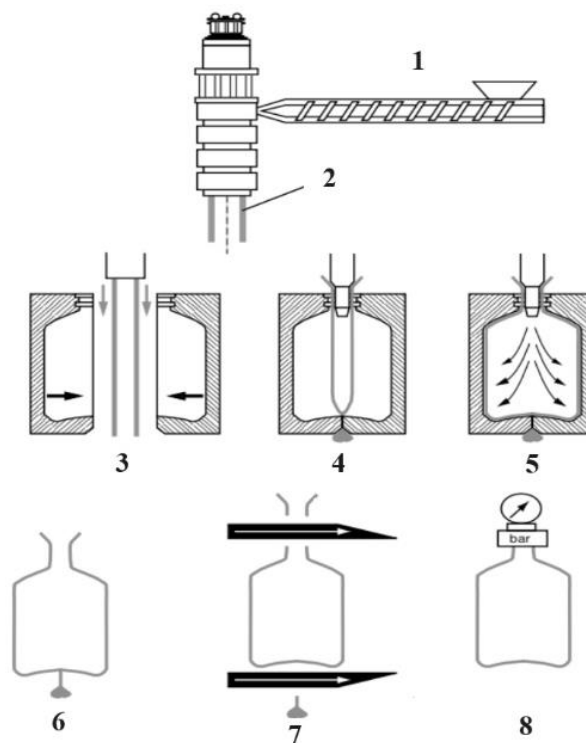
Gėrimų pramonės sektoriuje dažniausiai naudojamas polimeras yra polietileno tereftalas dėl savo lengvumo, gerų apsauginių savybių bei paprastumo apdirbant, kas leidžia pakuotes iš PET gaminti dideliais kiekiais. Dėl šios priežasties tolimesniam tyrimui buvo pasirinktas PET polimeras, iš kurio bus gaminami bandiniai ir vėliau atliekami sienelių storio matavimai ir gniuždymo tyrimai.

1.2. Plastikinių butelių gamybos technologijų analizė

Gėrimų pramonės sektoriuje gaminant plastikinius butelius yra naudojamos įvairios gamybos technologijos, priklausomai nuo to, iš kokio polimero gaminami buteliai bei kokio tūrio ar paskirties gaminami buteliai. Butelių gamybos technologijos skiriasi naudojama technologine įranga, taip pat ir energetinių resursų sąnaudomis, nes vienos technologijos reikalauja didesnių energetinių resursų lyginant su kitomis gamybos technologijomis. Šiame poskyryje bus atliekama išsamesnė plastikinių butelių gamybos technologijų analizė.

1.2.1. Ekstruzijos technologija

Vienas iš gamybos metodų, naudojamų maisto pramonėje gaminti plastikines pakuotes, yra ekstruzinis formavimo metodas. Dažniausiai naudojami polimerai šioje butelių gamybos technologijoje yra didelio tankio polietilenas, mažo tankio polietilenas – tai termoplastikai, kurie kaitinami gali pasiekti savo elastingą arba klampią būseną ir aušinami atgauna savo pradines savybes [12]. Toliau esančiame 4 paveiksle pateikiami pagrindiniai ekstruzijos formavimo gamybos technologijos žingsniai.

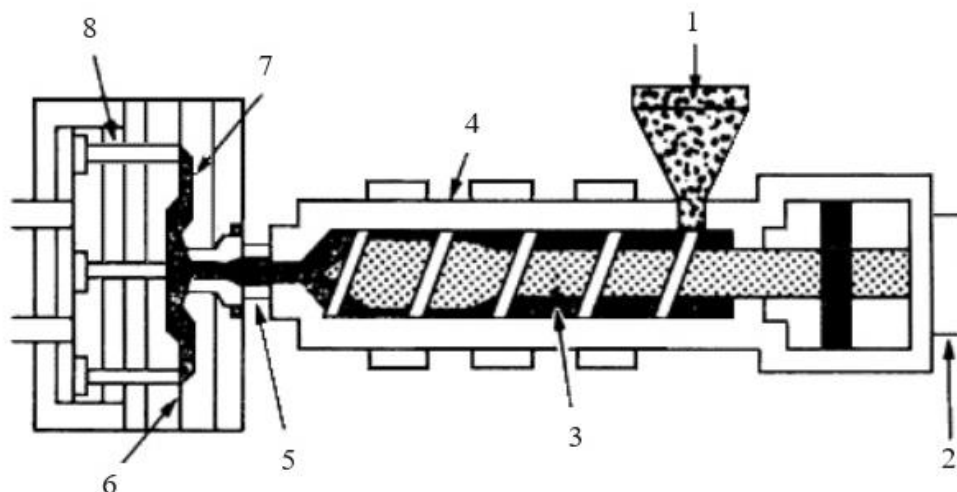


4 pav. Pagrindiniai ekstruzijos formavimo technologijos žingsniai [13]

Ekstruzijos metodas pirmiausia prasideda nuo žaliavos apdirbimo. Naudojama žaliava šios gamybos technologijos metu yra HDPE ar LDPE granulės, kurios 1 žingsnyje yra kaitinamos iki tam tikros temperatūros kol pasieks lydymosi temperatūrą, po to išlydytas plastikas ekstruderiu yra tiekiamas į formavimo įrenginį. Formavimo įrenginyje išlydytas plastikas yra formuojamas į ištisinį vamzdelį (2). Vamzdelio skersmuo ir sienelės storis yra reguliuojamas formavimo įrenginyje priklausomai nuo to, koks gaminy yra gaminamas. Po vamzdelio suformavimo plastikas yra ataušinamas iki tam tikros temperatūros, kada suformuotas vamzdelis yra pakankamai tvirtas, kad išlaikytų savo formą, tačiau nėra atvėsintas per daug, kad tolimesniuose gamybos žingsniuose būtų galima atlikti plastiko formavimą. Po to atliekamas 3 žingsnis, kurio metu suformuotas plastikinis vamzdelis yra tiekiamas į formas, kuriose jau yra suformuota galutinio produkto forma su kakleliu. Po šio žingsnio atliekamas 4 proceso etapas, kurio metu uždaroma forma ir įstatoma pūtimo įranga. Po pūtimo įrangos įstatymo atliekamas 5 proceso žingsnis, kurio metu yra tiekiamas aukšto slėgio suspaustas oras į formą. Dėl tiekiamo suspausto oro plastikinis vamzdelis pakeičia savo formą ir įgauna formoje esančią formą. Atlikus formavimo žingsnį produktas yra ataušinamas, kad išlaikytų savo formą, ir plastikas atgautų savo pradines stiprumo savybes. Ataušinus gautą butelį jis yra pašalinamas iš formos (6). Po šio žingsnio atliekamas galutinio produkto apdorojimas, kurio metu atliekamas 7 žingsnis, kai nuo produkto pašalinamas perteklinis plastiko kiekis nuo apačios ir viršaus, taip gaunamas galutinis produktas [14]. Atlikus galutinį butelio gamybos žingsnį atliekamas patikros žingsnis (8), kurio metu butelio kakliukas yra užsandinamas ir butelio viduje yra sukliamas slėgis, taip patikrinant, ar produktas yra sandarus ir ar nėra kitų defektų, kurie galėtų pakenkti tolimesniuose gamybos žingsniuose fasuojant ir realizuojant produktą.

1.2.2. Įpurškimo formavimo technologija

Įpurškimo formavimo technologija taip pat yra naudojama butelių gamybai iš termoplastinių polimerų. Toliau esančiame 5 paveiksle pateikiama įpurškimo formavimo proceso schema.



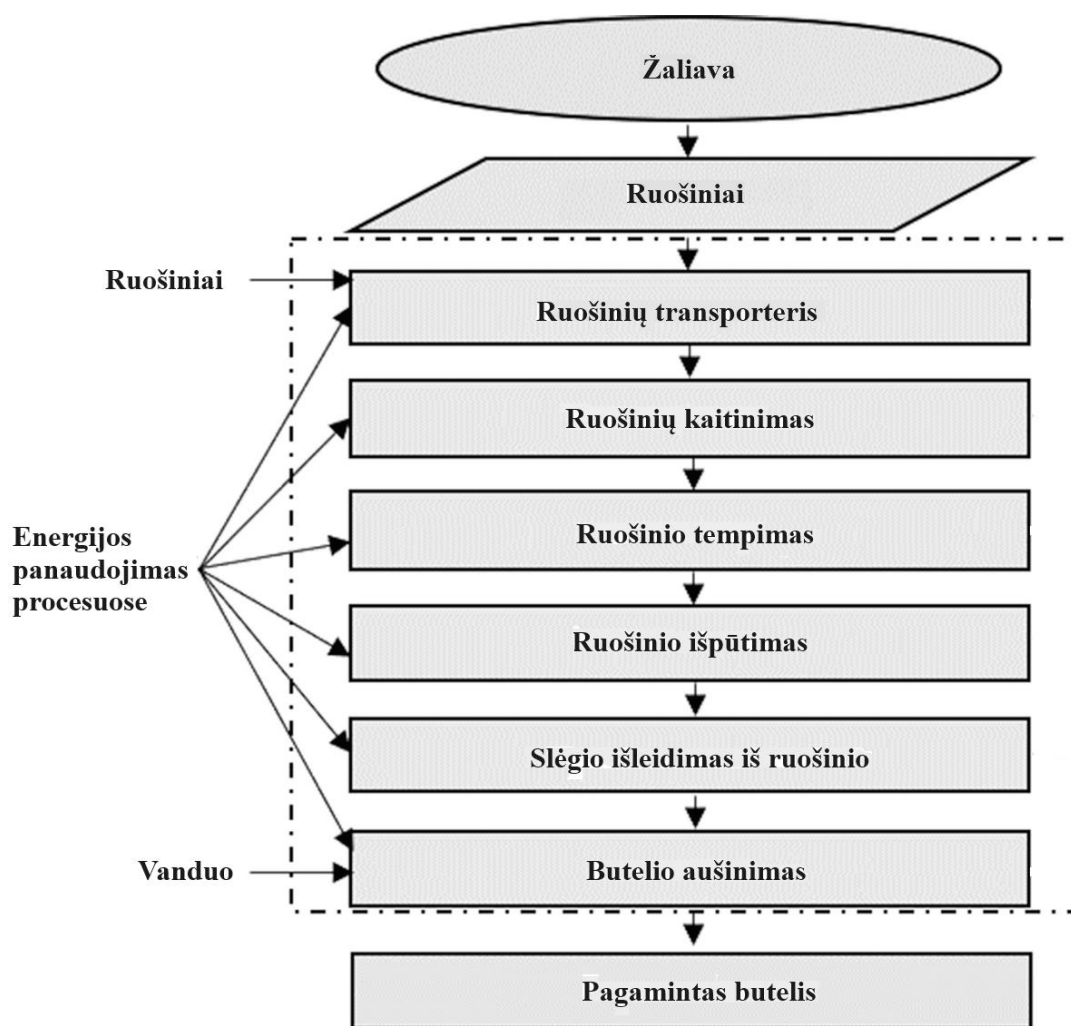
5 pav. Įpurškimo formavimo procesas [11]

1 - plastiko granulės, 2 – varomoji pavarą, 3 – išlydytas plastikas, 4 – cilindras, 5 – purkštukas, 6 – forma, 7 – tarpelis, 8 – išmetimo kaiščiai

Šio proceso metu yra tiekiamos plastiko granulės (1), kurios yra išlydomos (4) cilindre. Išsilydžius plastikui (3) jis toliau varomosios pavaros (2) pagalba yra tiekiamas į purkštuką (5). Per purkštuką išlydytas plastikas yra purškiamas į formą (6), kuri yra pagaminta iš metalo, kuris gali atlaikyti aukštą temperatūrą ir nesideformuoti. Forma dažniausiai susideda iš dviejų dalių, taip suformuojant norimo gaminio formą – šiuo atveju butelio [15]. Tarp formos dalių yra paliekamas tarpelis (7), į kurį yra purškiamas išlydytas plastikas pro purkštuką (5). Užpildžius formą išlydytu plastikui ji yra ataušinama, kad plastikas atgautų savo pirmines fizikines savybes ir išlaikytų gaminamo butelio formą. Po ataušinimo forma yra atidaroma ir pagamintas butelis pašalinamas.

1.2.3. Ištempimo ir pūtimo technologija

Ištempimo ir pūtimo technologija dažniausiai naudojama polietileno tereftalato buteliams gaminti. Naudojant šią technologiją galima išpūsti norimo tūrio bei dizaino butelius. Dėl PET polimero savybių butelio dizainas gali būti įvairių formų ir turėti įvairių iškilimų ar įdubimų savo formoje, nes PET polimero savybės leidžia lengvai išformuoti norimą dizainą ir atvėsintas butelis nepraranda savo formą. Toliau esančiame 6 paveiksle pateikiama PET butelių gamybos blokinė schema.



6 pav. PET butelių gamybos proceso blokinė diagrama [16]

Ištempimo ir pūtimo technologinis procesas gali prasidėti dvejopai: pirminiame technologinio proceso etape gali būti naudojami jau pagaminti ruošiniai skirti buteliams gaminti, kitame – technologinis procesas gali prasidėti nuo polietileno tereftalato granulių žaliavos, kai ruošiniai yra suformuojami liejimo metodu išpurškiant išlydytą PET polimerą į ruošinio formą [17]. Antruoju atveju technologinis procesas pasunkėja ir pareikalauja didesnių energetinių sąnaudų, todėl dažniausiai naudojamas pirminis būdas, kai naudojami jau pagaminti ruošiniai. Kitame etape, t. y. ištempimo ir pūtimo technologiniame procese, yra ruošinių padavimas į kaitinimo zoną ruošinių transporteriu. Atkeliavę ruošiniai keliauja pro kaitinimo lempas. Paminėtina, kad tuo pačiu metu yra atliekamas ruošinių sukimas, kad ruošinio paviršius įkaistų kuo tolygiau. Prieš ruošiniui iškeliaviant iš kaitinimo zonos yra patikrinama ruošinio temperatūra. Ruošinys turi būti pasiekęs nustatytą temperatūrą. Po kaitinimo zonos įkaitęs ruošinis yra automatiškai perduodamas į pūtimo stotį. Pūtimo stotis gali būti linijinė arba rotacinė. Linijinėje pūtimo stotyje yra iš aliuminio pagamintas butelio formos blokas, kuriame vienu metu yra ištempiami ir išpučiami keli ruošiniai. Rotacinėje pūtimo mašinoje yra atskiros stotelės, kuriose yra taip pat iš aliuminio pagaminta butelio forma. Rotacinėje pūtimo mašinoje vienu metu yra ištempiamas ir išpučiamas vienas butelis. Ruošiniui patekus į išpūtimo zoną pirmiausiai yra atliekamas ruošinio tempimas. Besileidžiantis strypas ištempia ruošinį, kad kitame etape būtų lengviau išformuoti norimą butelį, taip pat tempimo proceso metu yra tolygiau paskirstomas plastiko kiekis per butelio paviršių. Po tempimo proceso atliekamas pirminis ruošinio pūtimas, kurio metu į ruošinio vidų įpučiamas 10 barų slėgio suspaustas oras. Po

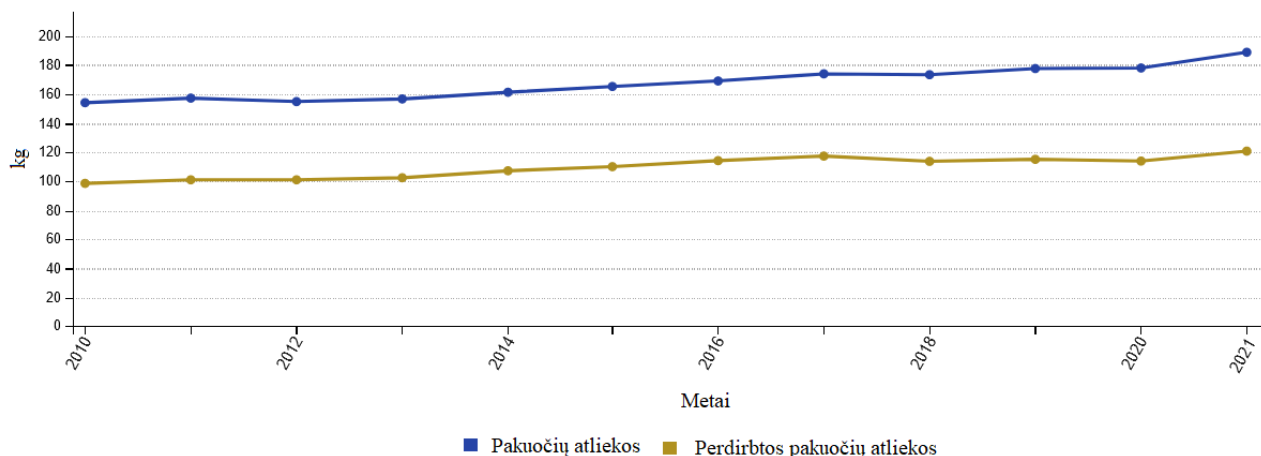
pirminio pūtimo yra atliekamas baigiamasis pūtimas, kai į ruošinio vidų įpučiamas 30–35 barų slėgio suspaustas oras, taip galutinai atliekamas butelio formavimo procesas [18]. Atlikus šį veiksmą iš suformuoto butelio yra išleidžiamas susidaręs slėgis ir atliekamas butelio aušimas vandenių siekiant išlaikyti suformuoto butelio formą. Po butelio aušinimo proceso suformuotas butelis automatiškai išimamas iš pūtimo stoties ir toliau keliauja gamybiniu proceso keliu į butelio užpildymo produktu įrangą.

Gaminant butelius ištempimo ir pūtimo technologija iš jau pagaminto ruošinio šio proceso metu naudojami energetiniai resursai yra elektra ir suspaustas oras [19]. Pagaminti buteliai šiuo technologiniu procesu panaudojant PET polimerą yra skaidrūs ir tvirti. Siekiant žiedinės ekonomikos šio technologinio proceso metu gali būti panaudoti ruošiniai iš perdirbto polietileno tereftalato, tačiau iš tokio plastiko pagaminti buteliai praranda savo skaidrumą, nes perdirbant plastiką nauja PET žaliava yra maišoma su iš atliekų susmulkinta žaliava, kurioje yra įvairių spalvų plastikai, todėl galutinis produktas įgauna tam tikrą atspalvį. Taip pat reikia paminėti, kad butelio paviršiuje matomos priemaišų paliktos žymės.

1.3. Susidarančių plastiko atliekų analizė

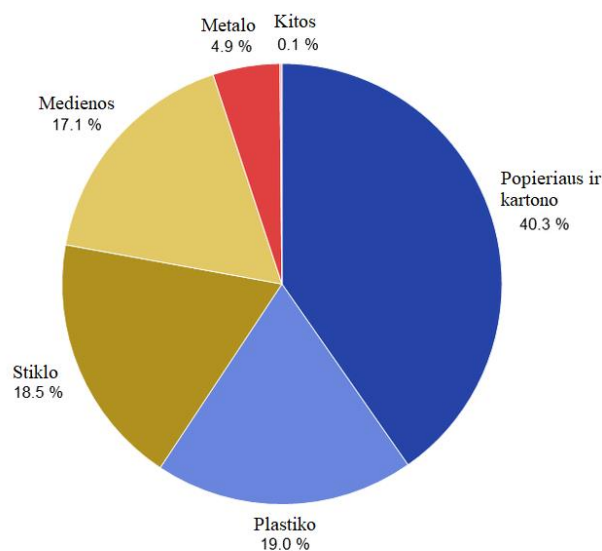
Per pastarąjį penkiasdešimtį metų laikotarpį plastikai, kurie gaminami iš iškastinio kuro, tapo neatskiriama kiekvieno vartotojo kasdienybės dalimi. Plastiko, kuris gaunamas perdirbant iškastinį kurą, gamyba išaugo nuo 1,5 milijonų metrinių tonų 1950 metais iki 359 milijonų metrinių tonų 2018 metais. Europoje plastiko buvo pagaminta 61,8 milijonų metrinių tonų [20]. Auganti plastiko gamybos tendencija pastebima dėl taip pat augančio vartotojų skaičiaus bei augančių vartotojų poreikių, todėl gamybos sektorius siekdamas patenkinti išaugusius vartotojų poreikius didina savo gamybos apimtį, tuo pačiu metu didindami ir sunaudojamų žaliavų kiekį. Vienas iš gamybos sektorių, kurio gamybos procesuose plačiai yra naudojamas plastikas, yra maisto produktų gamybos sektorius. Šio darbo metu plačiau bus apžvelgiamas vienas iš maisto gamybos sektorių, tai yra gėrimų pramonės gamybos sektorius. Šiame gamybos sektoriuje plastikas yra naudojamas pakuočių gamyboje, kurios bus naudojamos tolimesniuose gamybos procesuose sufazuojant ir realizuojant produktą vartotojui. Dažniausiai gėrimų pramonėje dideliems gamybos kiekiams naudojamas polietileno tereftalato polimeras. Šis polimeras naudojamas dėl gerų mechaninių savybių, kurios apsaugo produktą, skirtą vartotojui, nuo išorinių aplinkos veiksnių, kurie galėtų pakenkti produkto kokybei. Dėl augančių gamybos kiekių jaučiamas ir neigiamas poveikis aplinkai.

Vis labiau augant plastiko pakuočių gamybos mastams išaugo ir suvartojamos žaliavos kiekis, reikalingas patenkinti susidariusį vartotojų poreikį. Remiantis 1964 metų iki 2020 metų duomenimis plastiko gamybos bei suvartojimo kiekis pasauliniu mastu išaugo 24 kartus – nuo 15 milijonų tonų iki 367 milijonų tonų. Tik 9 % iš 6300 milijonų tonų pagaminto neapdoroto plastiko kiekio iki 2015 metų buvo perdirbta, 12 % susidariusių plastiko atliekų buvo sudeginta, likęs kiekis 79 % plastiko atliekų yra kaupiamas sąvartynuose arba dėl netinkamo utilizavimo patenka į aplinką [21]. Europoje 2019 metais buvo pagaminta apie 15 % pasaulio plastiko kiekio. Toliau pateikiamas 7 paveikslas, kuriame pavaizduotas plastiko pakuočių atliekų augimas Europos sąjungoje nuo 2010 metų iki 2021 metų.



7 pav. Pakuočių atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui [22]

Iš aukščiau pateikto 7 paveikslą galime matyti, kad pakuočių atliekų kiekis, tenkantis vienam Europos gyventojui, kiekvienais metais turi tendenciją augti. Remiantis pateiktais eurostat duomenimis, kurie yra pavaizduoti 7 paveiksle, pakuočių kiekis tenkantis vienam Europos gyventojui 2021 metais išaugo iki 188,69 kilogramų vienam gyventojui, perdirbamų atliekų kiekis padidėjo iki 120,69 kilogramų vienam gyventojui. Toliau esančiame 8 paveiksle pateikiama skritulinė diagrama, kurioje detalizuoti duomenys apie pakuočių atliekas.



8 pav. Pakuočių atliekos [22]

Iš pateiktos skritulinės diagramos galime matyti, kad didžiausią dalį pakuočių atliekų sudaro popieriaus ir kartono atliekos 40,3 %, plastiko atliekos 19 %, stiklo 18,5 %, medienos 17,1 %, metalo 4,9 % bei kitos pakuočių atliekos 0,1 %. Įvertinus pateiktus duomenis, augantis pakuočių atliekų kiekis reikalauja sprendimų, kurių pagalba būtų galima sumažinti susidarancias pakuočių atliekas šiuo atveju plastiko pakuočių atliekas bei padidinti perdirbamo plastiko panaudojimo kiekius, siekiant sumažinti naujos žaliavos gamybos kiekius.

Išaugus plastikinių pakuočių gamybos kiekiams, taip pat išaugo ir plastiko atliekų kiekis patenkantis į sąvartynus arba tiesiogiai į aplinką. Didėjantis plastiko atliekų kiekis turi didelę neigiamą įtaką

aplinkai bei žmogaus sveikatai. Dėl netinkamo susidarančių plastiko atliekų utilizavimo jos nukeliauja į aplinką, kurioje išlieka labai ilgą laiką iki kol suyra, taip sukeldamos pavojų gyvūnams bei augmenijai [23]. Taip pat netinkamai išrūšiuotos plastiko atliekos patenka į sąvartynus, kuriuose susikaupusios atliekos būna palaidojamos po žemių sluoksniu. Todėl dėl augančios plastiko atliekų kiekio problemos pasaulyje, valstybės pradėjo diegti įvairias sistemas, kurios skirtos susidarančioms plastiko atliekoms išrūšiuoti bei surinkti, kas leidžia tinkamiau išrūšiuoti ir utilizuoti susidarančias plastiko atliekas [24]. Tinkamai išrūšiuotas susidariusias plastiko atliekas galima perdirbti ir panaudoti naujų produktų gamybos procese. Vienas iš pavyzdžių, kaip tinkamai išrūšiuotas PET plastiko atliekas galima panaudoti jas perdirbant, yra 3D spausdintuvuose naudojamų medžiagų – siūlų – gamybai. Buvo atliktas tyrimas, kurio metu su 3D spausdintuvu buvo gaminami bandiniai iš perdirbto PET plastiko siūlų ir PLA siūlų, kurie dažnai naudojami 3D spausdinimo srityje. Tyrimas parodė, kad perdirbtas PET plastikas gali būti naudojamas kaip pakaitalas PLA plastikui, nes pagaminti bandiniai turi panašias mechanines savybes su bandiniais pagamintais iš PLA [25].

1.4. Skyriaus apibendrinimas

Atlikus medžiagų, naudojamų butelių gamybos procesuose, analizę buvo nustatyta, kad dažniausiai butelių gamybai naudojami PET, HDPE ir LDPE polimerai. Šios medžiagos naudojamos butelių gamybos procesuose dėl termoplastinių savybių, kurios leidžia išformuoti norimo tūrio ir formos butelius, kurie ataušinti išlaiko savo formą ir pasižymi puikiomis mechaninėmis savybėmis, kurios leidžia apsaugoti produkciją nuo pašalinių aplinkos poveikių. Gėrimų pramonės sektoriuje daugiausiai naudojamas polimeras yra PET. Šis polimeras dažniausiai naudojamas dėl savo fizikinių savybių, nes yra skaidrus. Pagaminti buteliai iš šio polimero yra patrauklūs vartotojui, todėl šio tipo butelių gamyba yra vykdoma dideliais kiekiais. Dėl šių priežasčių PET polimeras pasirinktas bandinių gamybai, su kuriais bus atliekami sienelių storio matavimo ir gniuždymo bandymo tyrimai. Bus vertinama, kokią įtaką plastiko kiekis turi butelių kokybei.

Butelių gamybos procesui galima pritaikyti trijų tipų technologijas: ekstruzijos, įpurškimo, ištempimo ir pūtimo. Ekstruzijos ir įpurškimo formavimo technologijos dažniausiai naudojamos butelių gamybai, kurie pagaminti iš HDPE ir LDPE polimerų. Ištempimo ir pūtimo technologija naudojama butelių gamybai, kurie gaminami iš PET polimero. Taip pat šia technologija buteliai yra gaminami didesniais kiekiais lyginant su ekstruzijos ir įpurškimo technologijomis. Bandinių gamybai pasirinkta ištempimo ir pūtimo technologija iš PET ruošinių. Gamyba bus atliekama gėrimų pramonės įmonėje, kurioje buteliai gaminami iš PET ruošinių ištempimo ir pūtimo technologija.

PET polimeras yra vienas iš plastikų, kurio suvartojimas pasaulyje sparčiai auga, kas taip pat didina susidarančių atliekų kiekius, kurios utilizuojamos sąvartynuose arba deginamos siekiant sukurti pridėtinę energetinę vertę iš atliekų. Tačiau tai turi neigiamą poveikį gamtai dėl išmetamų dujų deginimo proceso metu. Tinkamai išrūšiuotas atliekas galima perdirbti ir panaudoti naujų produktų gamybai, taip sumažinant atliekų kiekį patenkantį į aplinką. Siekiant sumažinti PET suvartojimą gėrimų pramonėje bandiniai bus gaminami iš trijų skirtingų masių ruošinių ir atliekamas vertinimas, kokį poveikį aplinkai turėtų plastiko kiekio sumažinimas PET ruošiniuose.

2. PET butelio atsparumo gniuždymui tyrimas

Antrajame skyriuje bus aprašoma tyrimo metodika, kuria bus įvertinama butelio kokybė sumažinus ruošinių masę. Taip pat šiame skyriuje bus aprašoma, kokios žaliavos buvo naudojamas gaminant bandinius bei su kokia įranga buvo atliekama bandinių gamyba.

2.1. Bandinių paruošimas

Bandinių gamybai bus naudojami trijų skirtingų masių ruošiniai: 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g. Ruošiniai pagaminti iš polietilene tereftalato polimero. Toliau esančiame 9 paveiksle pateikiami naudoti ruošiniai. Paveiksle ruošiniai paženklinėti skirtingais skaičiais: 1 skaičiumi paženklintas 29,5 g masės ruošinys, 2 skaičiumi – 32,5 g masės ruošinys, 3 skaičiumi – 35,7 g masės ruošinys. Iš pateikto paveikslo galime matyti, kad skirtingų masių ruošiniai naudoti bandinių gamybai yra skaidrūs, jų paviršiuje nesimato papildomų priemaišų, kurios galėtų daryti įtaką butelio kokybei.

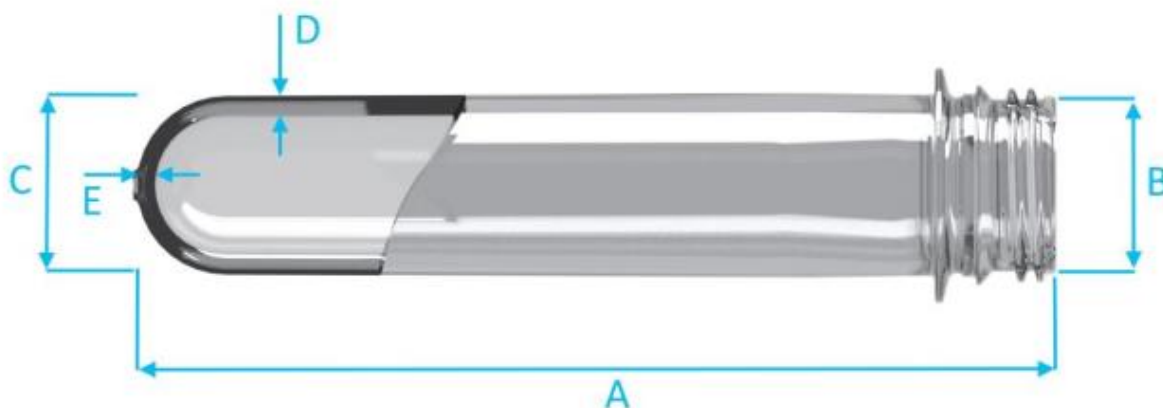


9 pav. Ruošiniai 1 – 29,5 g; 2 – 32,5 g; 3 – 35,7 g.

Naudoti ruošiniai bandinių gamybai yra pagaminti iš tos pačios rūšies PET polimero ir jų fizinės savybės yra panašios, tačiau skiriasi ruošinio masė ir matmenys. Toliau esančiame 10 paveiksle pateikiama ruošinio matmenų schema ir 1 lentelėje pateikiami ruošinių matmenys remiantis gamintojo technine specifikacija. 1 lentelėje pateikiami pagrindiniai ruošinio matmenys:

- bendras ruošinio ilgis (A);
- vidinis sriegio diametras (B);
- išorinis ruošinio diametras (C);
- ruošinio sienelės storis (D);

- ruošinio dugno sienelės storis (E).



10 pav. Ruošinio matmenų schema [26]

1 lentelė. Ruošinių matmenys [26]

Ruošinių matmenys				
	29,5 g	32,5 g	35,7 g	Žymuo 5 paveiksle
Bendras ilgis, mm	125,00	129,00	129,00	A
Vidinis sriegio diametras, mm	21,74	21,74	21,74	B
Išorinis diametras, mm	23,03	25,18	25,18	C
Sienelės storis, mm	2,90	2,83	3,24	D
Dugno sienelės storis, mm	2,31	2,55	2,80	E

Matmenų palyginimas remiantis 1 lentelės duomenimis:

- bendras ruošinių ilgis 32,5 g ir 35,7 g yra vienodas 129,00 mm, 29,5 g masės ruošinys yra 125,00 mm ilgio lyginant su didesnio masės ruošiniais jis yra 4 mm trumpesnis;
- vidinis sriegio diametras naudotų ruošinių yra vienodas 21,74 mm;
- išorinis diametras 32,5 g ir 35,7 g ruošinių vienodas ir lygus 25,18 mm, 29,5 g ruošinio išorinis diametras yra mažesnis lyginant su kitais ruošiniais ir lygus 23,03 mm;
- sienelės storis visų ruošinių yra skirtingas 29,5 g ruošinio 2,90 mm, 32,5 g ruošinio 2,83 g, 35,7 g ruošinio 3,24 g;
- dugno sienelės storis naudotų ruošinių, taip pat yra skirtingas 29,5 g ruošinio 2,31 mm, 32,5 g ruošinio 2,55 g ir 35,7 g ruošinio 2,80 g.

Skirtingų masių ruošiniai buvo pasirinkti norint įvertinti, kokią įtaką kokybei turės plastiko kiekio sumažinimas. 35,7 g ruošiniai yra naudojami šiuo metu 1,0 l PET butelių gamybai, todėl buvo pasirinkti du lengvesni 29,5 g ir 32,5 g ruošiniai.

2.1.1. Įranga bandinių gamybai

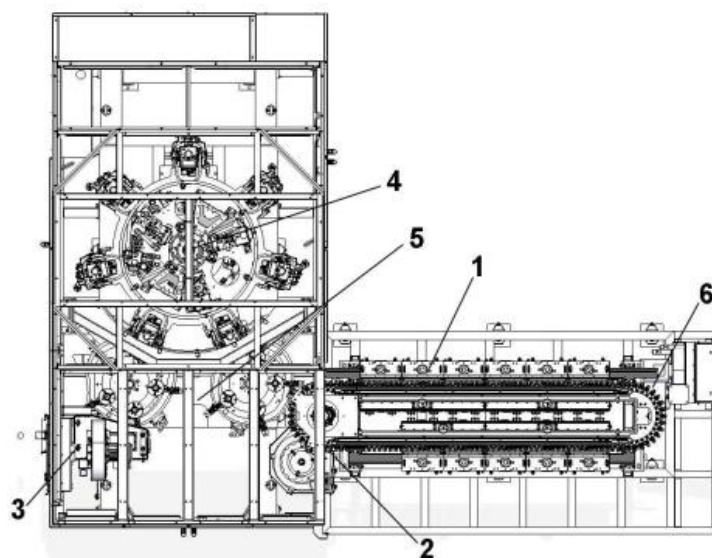
Atliekant bandinių gamybą buvo panaudota austrų įmonės „KOSME“ butelių pūtimo įranga K6R1611. Toliau esančiame 11 paveiksle pateikiamas naudotos įrangos vaizdas. Ši įranga yra rotacinė butelių gamybos įranga, kuri gamina butelius ištempimo ir pūtimo metodu.



11 pav. Butelių pūtimo įranga [27]

Naudojant šią įrangą butelių gamyba yra atliekama automatiškai nuo ruošinių padavimo iki jau pagaminto butelio. Toliau esančiame 12 paveiksle pateikiama K6R1611 butelių pūtimo įrangos schema su pagrindiniais įrangos mazgais:

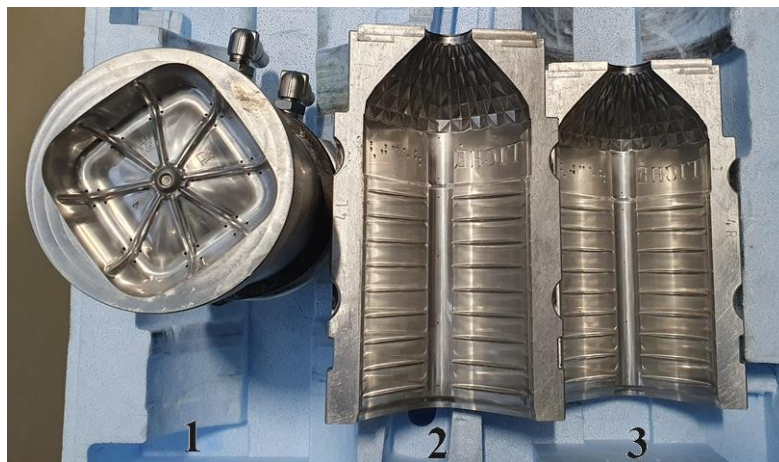
- 1 – ruošinių kaitinimo mazgas;
- 2 - ruošinių padavimo mazgas;
- 3 – butelių išėmimo mazgas;
- 4 – pūtimo stotys;
- 5 – ruošinių padavimo į pūtimo stotį mazgas;
- 6 – kakliukų aušinimo mazgas.



12 pav. K6R1611 pūtimo įrangos schema

Ruošinių kaitinimo mazge (1) yra sumontuotos kaitinimo lempos, kurios įkaitina PET ruošinį iki nustatytos temperatūros, kuri reikalinga norint ištempti ir išpūsti norimo tūrio butelį, šiuo atveju 1,0 l tūrio butelį. Ruošinių padavimo mazge (2) atkeliavę ruošiniai yra perduodami į ruošinių kaitinimo sritį. Ruošiniai į kaitinimo sritį yra paduodami intervalais, kad tarp ruošinių būtų sudaromas tarpelis. Tarpelis reikalingas, kad PET ruošinys kuo geriau pasisavintų šilumą iš kaitinimo lempų ir kad šiluma pasiskirstytų tolygiai ruošinio paviršiuje. Įrangoje yra sumontuota kakliuko aušinimo sistema (6) oru, kakliukas turi būti aušinamas, kad būtų išvengta sriegio deformacijos, esančios ant kakliuko, kas galėtų pakenkti tolimesniam gamybos procesui. Kai ruošinys yra įkaitinamas iki nustatytos temperatūros, jis yra perduodamas į pūtimo stotį (4) ruošinių perdavimo mazgu (5). Atkeliavę ruošiniai į pūtimo stotį yra ištempiami pagal nustatytus parametrus ir atliekamas butelio pūtimas, po kurio butelis yra ataušinamas ir išleidžiamas susidaręs slėgis pūtimo metu. Po butelio ataušinimo butelis yra išimamas iš pūtimo stoties butelių išėmimo mazgu (3).

PET 1,0 l tūrio butelių gamybai bus naudojamos iš aliuminio pagamintos formos, kurios susideda iš trijų dalių. Toliau esančiame 13 paveiksle pateikiama vienos iš naudotų formų rinkinys. Visam gamybos procesui naudojamos šešios formos. 13 paveiksle skaičiumi 1 pažymėta dugno forma, su kuria suformuojamas butelio dugnas. Šiuo atveju bus naudojama negazuotam produktui skirta plokščia kvadratinė dugno forma. 2 ir 3 skaičiumi paveiksle yra paženklintos butelio formai išgauti iš aliuminio pagamintos pūtimo formos. Butelio gamybos metu bus naudojamos kvadratinio butelio formos, kuriose jau yra išfrezuotas butelio dizainas. Atliekant kokybės vertinimą dėl sumažinto plastiko kiekio ruošiniuose, bus vertinama, ar simboliai, dizainas ir užrašai yra tinkamai suformuoti ir perskaitomi.



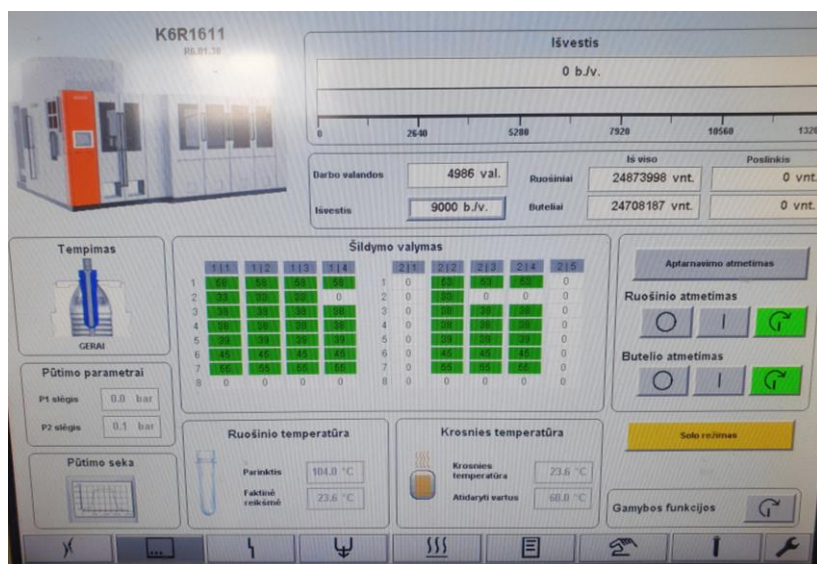
13 pav. 1,0 l tūrio PET butelio pūtimo forma

Pūtimo formos, su kuriomis bus atliekamas 1,0 l PET butelių gamybos procesas, įstatomos į pūtimo stotį, kurios naudojamoje įrangoje yra šešios. Toliau esančiame 14 paveiksle pateikiamas pūtimo stoties vaizdas, kur bus įstatomos formos. Paveiksle nurodyta, į kurias vietas įstatomos pūtimo formos dalys 1, 2, 3. Pūtimo stotyse bus atliekamas PET ruošinio ištempimas ir galutinio butelio formavimas.



14 pav. Pūtimo stotis

Paruošus įrangą PET butelių gamybai, bus atliekamos technologinio proceso parametrų korekcijos, kurias reikia atlikti norint pagaminti tinkamą bandinį. Toliau esančiame 15 paveiksle pateikiamas K6R1611 pūtimo įrangos valdymo skydas, kuriame bus atliekamas parametrų keitimas.



15 pav. K6R1611 pūtimo įrangos valdymo skydas

Atliekant PET butelių gamybą iš 29,5 g, 32,5 g ir 35,7 g masių ruošinių bus keičiami šie parametrai:

- ruošinio temperatūra – nustatoma temperatūra, kurią turi pasiekti ruošinys, kuris po kaitinimo zonos bus perduodamas į pūtimo zoną;
- šildymo zonos nustatymai – kaitinimo lempų parametrai, lempų skaičius, naudojamas šildymui, ir jų išdėstymas;

- pūtimo parametrai – nustatomas P1 ir P2 slėgis. P1 slėgis naudojamas pirminiam pūtimo metu, kurio metu 60 % suformuojamas butelis. P2 slėgis naudojamas galutiniam butelio formavimui.

Toliau esančiose lentelėse pateiki parametrai, pagal kuriuos buvo atliekama butelių gamyba. Gaminant butelius iš 35,7 g masės ruošinių buvo nustatomi gamybiniai parametrai, kurie pateikiami toliau esančioje 2 lentelėje. Išeinančio ruošinio temperatūra buvo nustatyta 104 °C, pirminio pūtimo slėgis P1– 12 bar, baigiamojo pūtimo slėgis P2 – 30 bar. Šildymo zonoje ruošinio įkaitinimui panaudotos 46 lempos iš 63. Apskaičiuota vidutinė kaitinimo zonos lempų galia 44,08 %.

2 lentelė. Butelių gamybos iš 35,7 g ruošinio gamybos parametrai

Ruošinio temperatūra, °C	104								
P1 slėgis, bar	12								
P2 slėgis, bar	30								
Šildymo zonos	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Kaitinimo lempų galia %	58	58	58	58	-	53	53	53	-
	33	33	33	-	-	33	-	-	-
	38	38	38	38	-	38	38	38	-
	38	38	38	38	-	38	38	38	-
	39	39	39	39	-	39	39	39	-
	45	45	45	45	-	45	45	45	-
	55	55	55	55	-	55	55	55	-
Vidutinė kaitinimo zonos lempų reikšmė, %	44,08								

Toliau esančioje 3 lentelėje pateiki parametrai, kurie buvo nustatyti pūtimo mašinos valdymo skyde gaminant butelius iš 32,5 g masės ruošinio. Ruošinio išėjimo temperatūra buvo nustatyta tokia pati, kaip ir atliekant gamybą iš 35,7 g masės ruošinio 104 °C. Pirminio ir galutinio pūtimo slėgiai nepakito ir išliko tokie patys: P1 – 12 bar, P2 – 30 bar. Šildymo zonoje ruošinio įkaitinimui buvo nustatytos 46 lempos iš 63. Apskaičiuota vidutinė kaitinimo zonos lempų galia 42,22 %.

3 lentelė. Butelių gamybos iš 32,5 g ruošinio gamybos parametrai

Ruošinio temperatūra, °C	104								
P1 slėgis, bar	12								
P2 slėgis, bar	30								

Šildymo zonos	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Kaitinimo lempų galia %	53	53	53	53	-	50	50	50	-
	31	31	31	-	-	31	-	-	-
	35	35	35	35	-	35	35	35	-
	35	35	35	35	-	35	35	35	-
	38	38	38	38	-	38	38	38	-
	45	45	45	45	-	45	45	45	-
	55	55	55	55	-	55	55	55	-
Vidutinė kaitinimo zonos lempų reikšmė, %	42,22								

Atliekant gamybą iš 29,5 g masės ruošinio gamybos metu buvo nustatyti parametrai, kurie pavaizduoti toliau esančioje 4 lentelėje. Išeinančio ruošinio temperatūra buvo nustatyta žemesnė lyginant su 35,7 ir 32,5 g masės ruošiniais 102 °C. Pirminio pūtimo slėgis P1 – 12 bar, galutinio pūtimo slėgis P2 – 30 bar. Atliekant ruošinio kaitinimą šildymo zonoje buvo nustatytos 46 lempos iš 64. Apskaičiuota vidutinė kaitinimo zonos lempų galia 38,85 %.

4 lentelė. Butelių gamybos iš 29,5 g ruošinio gamybos parametrai

Ruošinio temperatūra, °C	102								
P1 slėgis, bar	12								
P2 slėgis, bar	30								
Šildymo zonos	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Kaitinimo lempų galia %	50	50	50	50	-	48	48	48	-
	30	30	30	-	-	30	-	-	-
	32	32	32	32	-	32	32	32	-
	32	32	32	32	-	32	32	32	-
	35	35	35	35	-	35	35	35	-
	40	40	40	40	-	40	40	40	-
	50	50	50	50	-	50	50	50	-
Vidutinė kaitinimo zonos lempų reikšmė, %	38,85								

Iš pateiktų butelių gamybos parametrų galime matyti, kad ruošinio temperatūros, P1 ir P2 slėgių nustatymai skyrėsi nežymiai atliekant gamybas su skirtingos masės ruošiniais. Didžiausias skirtumas pastebimas apskaičiuotose vidutinėse kaitinimo zonos lempų galios reikšmėse. Atliekant gamybą su 35,7 g masės ruošiniais gamybos metu kaitinimo lempų vidutinė apskaičiuota galia buvo nustatyta

44,08 %, atliekant gamybą su 32,5 g masės ruošiniais 42,22 %, o su 29,5 g masės ruošiniais 35,85 %. Tai reiškia, kad atliekant gamybą su didesnės masės ruošiniais sunaudojama daugiau elektros energijos ruošinių kaitinimui lyginant su mažesnės masės ruošiniais.

2.2. Tyrimo metodikos sudarymas

PET butelio kokybei įvertinti gali būti naudojami sprogdinimo bandymai, kurių metu įvertinama, kokį vidinį slėgį gali atlaikyti butelis. Vakuuminis bandymas, kurio metu testuojama, ar butelis yra sandarus ir nėra jokių pažeidimų, kurie galėtų pakenkti produkto kokybei. 1,0 l PET buteliams bus atliekami sienelių storio matavimai ir vizualinė patikra. Taip pat gniuždymo bandymai, kurių metu bus tirama, kokią gniuždymo jėgos apkrovą gali atlaikyti butelis.

2.2.1. Vizualinė PET butelių patikra

Vizualinės patikros metu bus atliekamas butelio paviršiaus kokybės įvertinimas, taip pat bus atliekama matavimo kontrolė, kurios metu bus atliekami butelio pagrindinių dydžių matavimai: butelio aukščio, pločio. Vizualinės ir matavimo patikros metu bus tikrinami penki buteliai, pagaminti iš skirtingų masių ruošinių. Iš viso bus patikrinti penkiolika butelių. Toliau esančiame 16 paveiksle pateikiamas 1,0 l PET butelis ir jo matmenys, kurie matavimų metu bus išmatuoti.



16 pav. 1,0 l PET butelis

PET butelio fizikinių parametrų matavimo metu bus naudojama metalinė liniuotė ir slankmatis, norint nustatyti, ar pagaminti buteliai yra tinkamos kokybės. Vizualinės patikros metu bus atliekamas butelio paviršiaus vertinimas, ar tinkamai suformuotas butelis, ar užrašai ant butelio perskaitomi ir suprantami.

2.2.2. PET butelio sienelių storių matavimas

PET butelių, kurie pagaminti iš skirtingų masių ruošinių, kokybei įvertinti bus atliekami sienelių storio matavimai. Šie matavimai atliekami norint įvertinti, kaip pasiskirstęs plastikas butelio sienelėse per visą butelio paviršių ir kokią įtaką tai turi butelio kokybei.

Butelių sienelių matavimai atliekami rankiniu būdu su skaitmeniniu mikrometru, kuris pavaizduotas toliau esančiame 17 paveiksle. Skaitmeninio mikrometro matavimo ribos nuo 0,001 mm iki 12,5 mm, maksimali matavimo prietaiso paklaida 0,004 mm.



17 pav. Skaitmeninis mikrometras

PET buteliai prieš atliekant matavimus skaitmeniniu mikrometru yra supjaustomi į tris dalis. Supjaustytas PET butelis pavaizduotas toliau esančiame 18 paveiksle. Paveiksle matyti, kad 1,0 l butelis yra supjaustomas į viršutinę (A), vidurinę (B) ir apatinę (C) dalis. PET butelis supjaustomas į tris dalis norint išmatuoti, koks sienelių storis yra butelio viršutinėje, vidurinėje ir apatinėje dalyse.



18 pav. Supjaustytas PET butelis (A – viršus, B – vidurys, C – apačia.)

Matavimai atliekami 5 bandiniams, pagamintiems iš 35,7 g ruošinio, 5 bandiniams, pagamintiems iš 32,5 g ruošinio ir 5 bandiniams, pagamintiems iš 29,5 g masės ruošinio. Iš viso matavimai bus atliekami 15 butelių. Dėl kvadratinės butelio formos kiekvienai supjaustyto butelio daliai bus atliekama 12 matavimų, po 3 matavimo taškus 4 butelio plokštumose. Iš viso vienam PET buteliui bus atliekami 36 matavimai.

2.2.3. PET butelio gniuždymo tyrimai

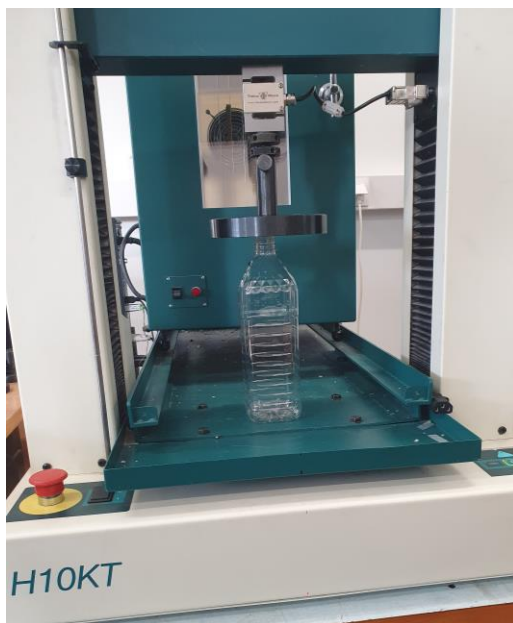
PET butelio gniuždymo eksperimentiniams tyrimas atlikti naudojama Tinius Olsen H10KT įranga, kurios nuotrauka pateikiama 19 paveiksle. Deformavimo jėgų duomenys buvo fiksuojami Tinius

Olsen specializuota programine įranga *QMat 5.37*. Gauti duomenys iš *QMat* programos toliau buvo apdorojami *MICROSOFT OFFICE EXCEL* programa.



19 pav. Tinius Olsen H10KT įranga [28]

Eksperimentiniai bandymai buvo atliekami su PET buteliais be kamštelio ir su kamšteliu. Kiekvienam tyrimui buvo panaudoti 5 buteliai, pagaminti iš skirtingų masių ruošinių: 35,7 g, 32,5 g, 29,5 g. Iš viso bandymai buvo atlikti 15 butelių be kamštelio ir 15 butelių su kamšteliu. Bandymų metu gniuždymo įrangoje buvo nustatyta maksimali 500 N apkrova, gniuždymo apkrovos kryptis iš viršaus į apačią, gniuždymo greitis 10 mm/min. Suvedus duomenis į gniuždymo įrangą, taip pat nustatomas aukštis, nuo kurio bus pradedami atlikti bandymai. Toliau esančiame 20 paveiksle pateikiama paruoštos įrangos su bandiniu nuotrauka.



20 pav. Paruošta gniuždymo įranga

Gniuždymo eksperimentas atliekamas iki tol, kol butelis yra deformuojamas, ir pasiekama didžiausia gniuždymo apkrova. Toliau esančiame 21 paveiksle pateikiama deformuoto PET butelio nuotrauka. Buteliui deformavus įranga sustabdoma ir atstatoma į pradinę padėtį. Bandymas kartojamas su kitu buteliu.



21 pav. Deformuotas PET butelis

Iš viso buvo atlikta 30 bandymų, iš kurių 15 PET butelių buvo su kamšteliu ir 15 be kamštelio. Toliau esančioje 5 lentelėje pateikiama informacija, kaip suskirstyti bandiniai. Bandiniai suskirstyti į 6 grupes po 5 vienetus. Gniuždymo tyrimai 15 bandinių atliekami be kamštelio ir 15 su užsuktu kamšteliu. Iš viso gniuždymo tyrimams panaudoti 10 vienetų 29,5 g masės butelių, 10 vienetų 32,5 g masės butelių ir 10 vienetų 35,7 g masės butelių.

5 lentelė. Bandinių paskirstymas

Grupės Nr.	Bandinių kiekis, vnt.	Butelio masė, g	Pastabos
1	5	29,5	Be kamštelio
2	5	32,5	Be kamštelio
3	5	35,7	Be kamštelio
4	5	29,4	Su kamštelio
5	5	32,5	Su kamštelio
6	5	35,7	Su kamštelio

Atlikus vienos grupės gniuždymo bandymus, duomenys iš *QMat* programinės įrangos buvo perkelti į *MICROSOFT OFFICE EXCEL* programą. Po duomenų išsaugojimo atliekami kitos grupės bandymai iki kol bus atlikti visi bandymai.

Atliekant gniuždymo tyrimus tušties buteliams vadovaujantis gamintojo nurodymais (priedas Nr. 1) buteliai, kurie naudojami negazuotiems produktams fasuoti turi atlaikyti $k \times 90$ N vertikalią gniuždymo jėgos apkrovą:

k koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$k = \frac{\text{Ruošinio masė} - \text{kakliuko sriegio masė}}{\text{Ruošiniu masė iš lentelės}} \quad (1.1)$$

6 lentelė. Standartinės ruošinių masės

Butelio tūris, l	2,5	2	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25
Ruošinio masė, g	67	48	41	37	33	30	23	17

Kakliuko sriegio masė lygi 3,81 g. Įstačius kintamuosius į aukščiau pateiktą 1.1 formulę k koeficientas 1,0 l tūrio buteliams pagamintiems iš 35,7 g ruošinio lygus:

$$k = \frac{35,7 - 3,81}{33} = 0,97$$

Apskaičiavus k koeficientą gauname, kad buteliai, pagaminti iš 35,7 g ruošinio, turi atlaikyti 87,3 N vertikalią gniuždymo jėgą. Atlikus skaičiavimus 32,5 g masės ruošiniui k koeficientas lygus 0,87, o buteliai pagaminti iš šios masės ruošinio turi atlaikyti 78,3 N vertikalią gniuždymo jėgą. Taip pat atliekami skaičiavimai 29,5 g ruošiniui, kurio k koeficientas lygus 0,78 ir butelis pagamintas iš šios masės ruošinio turi atlaikyti 70,2 N vertikalią gniuždymo jėgą.

2.3. Skyriaus apibendrinimas

Bandinių gamybos procese panaudoti 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g masės PET ruošiniai. 35,7 g ruošinys pasirinktas, nes šiuo metu su šios masės ruošiniu atliekama 1,0 l tūrio butelių gamyba. Siekiant įvertinti, kokią įtaką butelio kokybei turės plastiko kiekio mažinimas, buvo pasirinkti 29,5 g ir 32,5 g masės ruošiniai, kurie yra lengvesni už 35,7 g ruošinį.

Gamybos procesas atliktas su K6R1611 ištempimo ir pūtimo įranga. Gamybos metu buvo atliekamos gamybinių parametrų korekcijos, kurios buvo reikalingos norint pagaminti 1,0 l tūrio butelius iš lengvesnių PET ruošinių. Atlikus PET butelių gamybą atrinkti po 15 vnt. bandinių, kurie pagaminti iš skirtingų masių ruošinių, su kurias bus atliekami tyrimai, norint įvertinti plastiko mažinimo daromą įtaką butelio kokybei.

Butelio kokybei įvertinti dėl sumažinto plastiko kiekio atliekami sienelių storio matavimai ir gniuždymo bandymai. Gniuždymo bandymai atliekami buteliams su kamšteliu ir be kamšteliu, kurių metu fiksuojama maksimali gniuždymo jėga prieš įvykstant butelio deformacijai. Gauti duomenys toliau analizuojami ir vertinama, kokią įtaką butelio kokybei turėjo plastiko kiekio sumažinimas PET ruošiniuose.

3. Projekto rezultatai ir sprendimai

3.1. Matavimų ir vizualinės patikros rezultatai

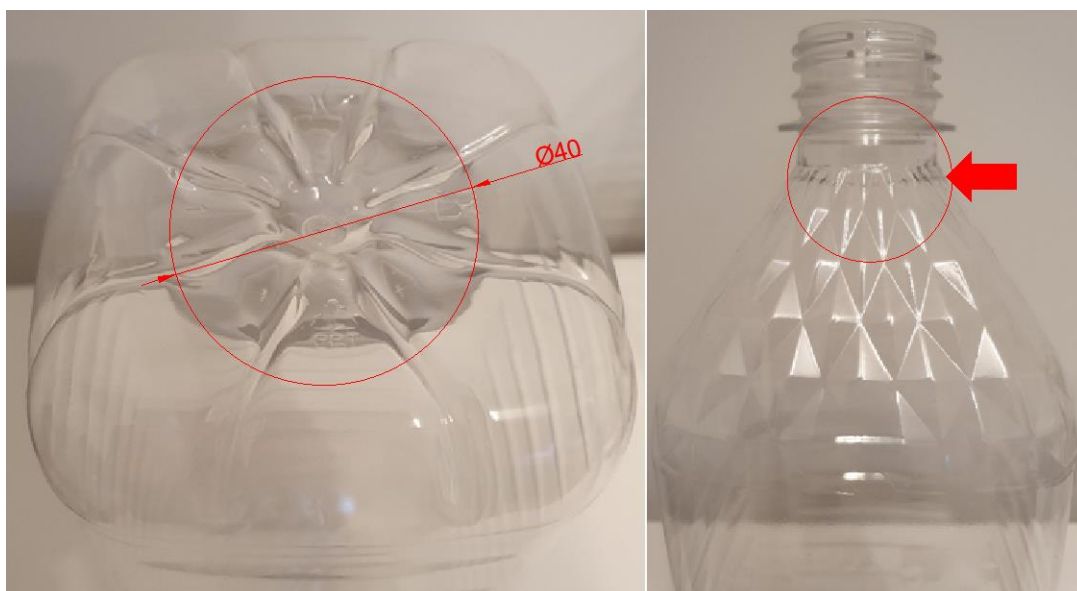
Atlikus matavimų ir vizualinę patikrą pagamintiems buteliams, gauti rezultatai yra pateikiami toliau esančiuose lentelėse ir paveiksluose. Matavimų metu buvo nustatyta, ar pagamintų butelių aukštis, plotis ir ilgis atitinka kokybės reikalavimus. Vizualinės patikros metu buvo nustatyta, ar užrašai, esantys ant butelio, yra įskaitomi ir suprantami, ar butelio dugnas ir visa jo forma tinkamai suformuota ir be defektų. Iš viso buvo išmatuota ir vizualiai patikrinta 15 butelių: 5 buteliai pagaminti iš 29,5 g ruošinių, 5 pagaminti iš 32,5 g ruošinių ir 5 pagaminti iš 35,7 g ruošinių.

Matavimų rezultatai butelio, pagaminto iš 29,5 g masės ruošinio, pateikiami 7 lentelėje. Atlikus penkių bandinių matavimus buvo nustatyta, kad 2 bandinys yra 1 mm žemesnis, o 3 bandinys 0,5 mm aukštesnis už standartinį butelių aukštį, tačiau matmenys patenka į nurodytas ribas $244 \pm 1,2$ mm. 3 bandinio ilgis ir plotis yra 0,5 mm mažesnis už standartinius matmenis, tačiau patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. 4 bandinio ilgis ir plotis yra 0,5 mm didesnis už standartinius matmenis, tačiau taip pat patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. Apskaičiavus bandinių vidutinį aukštį, plotį ir ilgį buvo nustatyta, kad penkių bandinių vidutinis aukštis yra 243,9 mm, ilgis ir plotis – 77,5 mm.

7 lentelė. 29,5 g butelio matavimo rezultatai

	Aukštis, mm	Ilgis, mm	Plotis, mm
Bandinys Nr.1	244	77,5	77,5
Bandinys Nr. 2	243	77,5	77,5
Bandinys Nr. 3	244,5	77	77
Bandinys Nr. 4	244	78	78
Bandinys Nr. 5	244	77,5	77,5
Vidurkis:	243,9	77,5	77,5

Vizualinės patikros metu buvo įvertinta, ar 29,5 g buteliai yra tinkamai suformuoti ir ar nėra defektų. Toliau esančiame 22 paveiksle pateikiama butelio dugno nuotrauka kairėje ir butelio viršutinės dalies nuotrauka dešinėje. Butelio dugno nuotraukoje matomas plastiko kiekio perteklius 40 mm skersmens apskritimas dugno centre. Dėl didesnio plastiko kiekio apačioje butelio dugnas yra tvirtesnis, tačiau viršutinės butelio briaunos silpnesnės. Viršutinės dalies nuotraukoje matomas nedidelis perteklinio plastiko kiekis šalia kakliuko. Dėl šios priežasties žemiau esančios butelio briaunos yra silpnesnės. Norint pašalinti perteklinio plastiko kiekį dugne ir prie kakliuko, reikia koreguoti gamybinius nustatymus. Atlikus vizualinę butelio užrašų patikrą, užrašai buvo įskaitomi ir apčiuopiami. Defektų neaptikta ant butelių paviršiaus.



22 pav. 29,5 g butelio nuotrauka

Atlikus matavimų ir vizualinę patikrą buvo nustatyta, kad buteliai, pagaminti iš 29,5 g ruošinio, atitinka jiems keliamus matmenų ir vizualinius reikalavimus ir gali būti naudojami tolimesniuose tyrimuose.

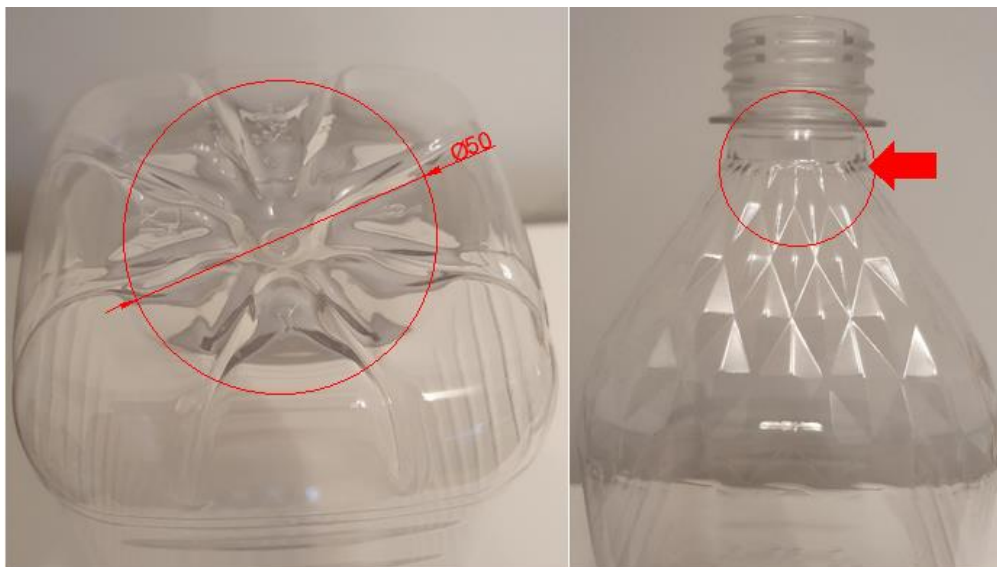
Matavimų rezultatai butelio, pagaminto iš 32,5 g masės ruošinio, pateikiami 8 lentelėje. Atlikus penkių bandinių matavimus buvo nustatyta, kad 1 ir 3 bandiniai yra 1 mm aukštesni už standartinį 244 mm butelių aukštį, tačiau matmenys patenka į nurodytas ribas $244 \pm 1,2$ mm. 1 bandinio ilgis ir plotis yra 1 mm mažesnis už standartinius matmenis, tačiau patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. 5 bandinio ilgis ir plotis yra 0,5 mm mažesnis už standartinius matmenis, tačiau taip pat patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. Apskaičiavus bandinių vidutinį aukštį, plotį ir ilgį buvo nustatyta, kad penkių bandinių vidutinis aukštis yra 244,4 mm, ilgis ir plotis yra 77,2 mm.

8 lentelė. 32,5 g butelio matavimo rezultatai

	Aukštis, mm	Ilgis, mm	Plotis, mm
Bandinys Nr.1	245	76,5	76,5
Bandinys Nr. 2	244	77,5	77,5
Bandinys Nr. 3	245	77,5	77,5
Bandinys Nr. 4	244	77,5	77,5
Bandinys Nr. 5	244	77	77
Vidurkis:	244,4	77,2	77,2

Vizualinės patikros metu buvo įvertinta, ar 32,5 g buteliai yra tinkamai suformuoti ir ar nėra defektų. Toliau esančiame 23 paveiksle pateikiama butelio dugno nuotrauka kairėje ir butelio viršutinės dalies nuotrauka dešinėje. Butelio dugno nuotraukoje matomas plastiko kiekio perteklius 50 mm skersmens apskritimas dugno centre. Dėl didesnio plastiko kiekio apačioje butelio dugnas yra tvirtesnis, tačiau

viršutinės butelio briaunos silpnesnės. Viršutinės dalies nuotraukoje matomas nedidelis perteklinio plastiko kiekis šalia kakliuko. Dėl šios priežasties žemiau esančios butelio briaunos yra silpnesnės. Norint pašalinti perteklinio plastiko kiekį dugne ir prie kakliuko, reikia koreguoti gamybinius nustatymus. Atlikus vizualinę butelio užrašų patikrą, užrašai buvo įskaitomi ir apčiuopiami. Defektų neaptikta ant butelių paviršiaus.



23 pav. 32,5 g butelio nuotrauka

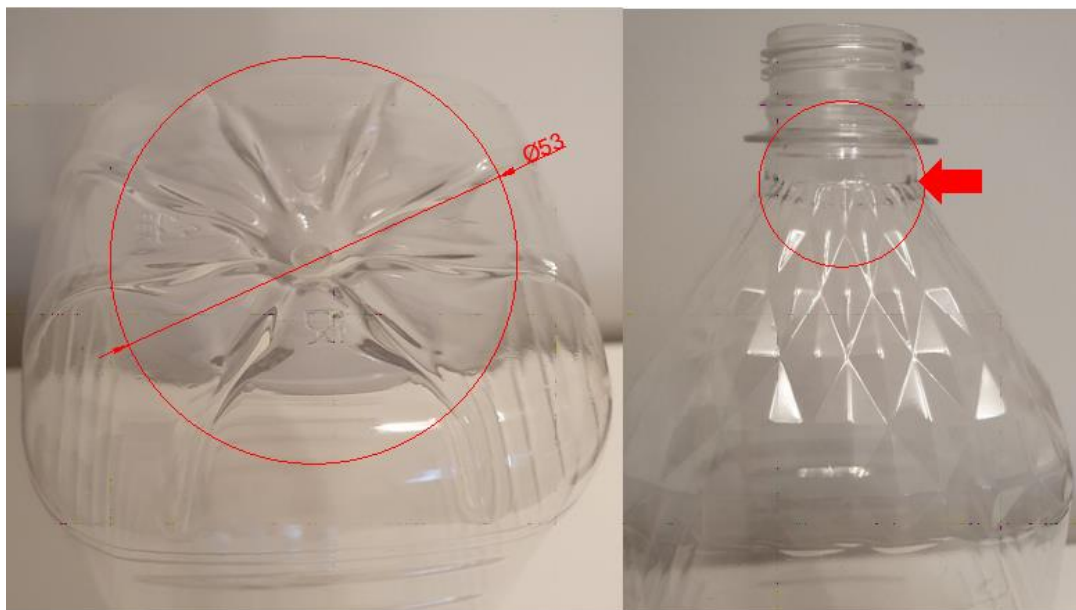
Atlikus matavimų ir vizualinę patikrą buvo nustatyta, kad buteliai pagaminti iš 32,5 g ruošinio atitinka jiems keliamus matmenų ir vizualinius reikalavimus ir gali būti naudojami tolimesniuose tyrimuose.

Matavimų rezultatai butelio, pagaminto iš 35,7 g masės ruošinio, pateikiami 9 lentelėje. Atlikus penkių bandinių matavimus buvo nustatyta, kad 4 bandinys yra 1 mm aukštesnis už standartinį butelių aukštį 244 mm, tačiau matmenys patenka į nurodytas ribas $244 \pm 1,2$ mm. 2 bandinio ilgis ir plotis yra 0,5 mm mažesnis už standartinius matmenis, tačiau patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. 5 bandinio ilgis ir plotis yra 0,5 mm didesnis už standartinius matmenis, tačiau taip pat patenka į nustatytas ribas $77,5 \pm 1$ mm. Apskaičiavus bandinių vidutinį aukštį, plotį ir ilgį buvo nustatyta, kad penkių bandinių vidutinis aukštis yra 244 mm, ilgis ir plotis yra 77,5 mm.

9 lentelė. 35,7 g butelio matavimo rezultatai

	Aukštis, mm	Ilgis, mm	Plotis, mm
Bandinys Nr.1	244	77,5	77,5
Bandinys Nr. 2	244	77	77
Bandinys Nr. 3	244	77,5	77,5
Bandinys Nr. 4	245	77,5	77,5
Bandinys Nr. 5	244	78	78
Vidurkis:	244,2	77,5	77,5

Vizualinės patikros metu buvo įvertinta, ar 35,7 g buteliai yra tinkamai suformuoti ir ar nėra defektų. Toliau esančiame 24 paveiksle pateikiama butelio dugno nuotrauka kairėje ir butelio viršutinės dalies nuotrauka dešinėje. Butelio dugno nuotraukoje matomas plastiko kiekio perteklius 53 mm skersmens apskritimas apie centrą. Dėl didesnio plastiko kiekio apačioje butelio dugnas yra tvirtesnis, tačiau viršutinės butelio briaunos silpnesnės. Viršutinės dalies nuotraukoje matomas nedidelis perteklinio plastiko kiekis šalia kakliuko. Dėl šios priežasties žemiau esančios butelio briaunos yra silpnesnės. Norint pašalinti perteklinio plastiko kiekį dugne ir prie kakliuko reikia koreguoti gamybinius nustatymus. Atlikus vizualinę butelio užrašų patikrą, užrašai buvo įskaitomi ir apčiuopiami. Defektų neaptikta ant butelių paviršiaus.



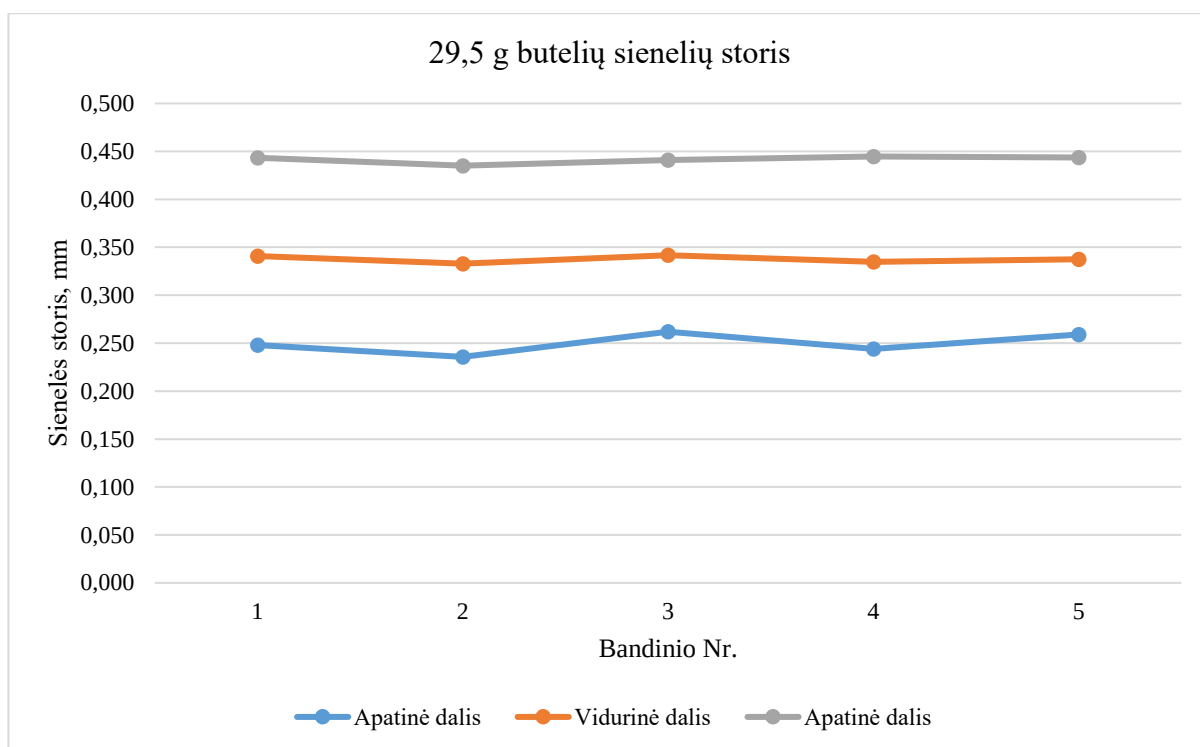
24 pav. 35,7 g butelio nuotrauka

Atlikus matavimų ir vizualinę patikrą buvo nustatyta, kad buteliai, pagaminti iš 35,7 g ruošinio, atitinka jiems keliamus matmenų ir vizualinius reikalavimus ir gali būti naudojami tolimesniuose tyrimuose.

3.2. PET butelio sienelių matavimų rezultatai

Atlikti sienelių storio matavimų rezultatų vidurkiai 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g masės buteliams pateikiami toliau esančiuose paveiksluose ir lentelėse. Atliktų matavimų duomenys pateikiami 2, 3 ir 4 prieduose. Iš viso išmatuota 15 butelių po 5 kiekvienos masės butelius. Matuojant kiekvieną butelį buvo atlikta po 36 matavimus, iš kurių 12 viršutinėje butelio dalyje, 12 vidurinėje butelio dalyje, 12 apatinėje butelio dalyje. Matavimo taškai pasirenkami atsitiktine tvarka butelio paviršiuje.

Butelio pagaminto iš 29,5 g masės ruošinio sienelių matavimų rezultatai pateikiami toliau esančiame 25 paveiksle. Paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame atvaizduoti penkių bandinių sienelių storiai. Iš grafiko galime matyti, kad visų penkių bandinių ploniausia sienelė yra viršutinėje butelio dalyje, o storiausią sienelę yra butelio apatinėje dalyje. Pagal pateiktą grafiką galime matyti, kad sienelių storio variacija tarp bandinių nėra didelė.



25 pav. 29,5 g butelių sienelių storis

Toliau esančioje 10 lentelėje pateikiami apskaičiuoti sienelių storio vidurkiai bei apskaičiuotas bendras penkių bandinių sienelių storių vidurkis. Iš pateiktų duomenų galime matyti, kad 29,5 g masės butelių viršutinės dalies sienelės storis yra 0,250 mm, vidurinės dalies 0,338 mm, apatinės dalies 0,442 mm. Viršutinės dalies sienelės yra 0,088 mm plonesnės už vidurinės dalies sienelės ir 0,192 mm plonesnės už apatinės dalies sienelės.

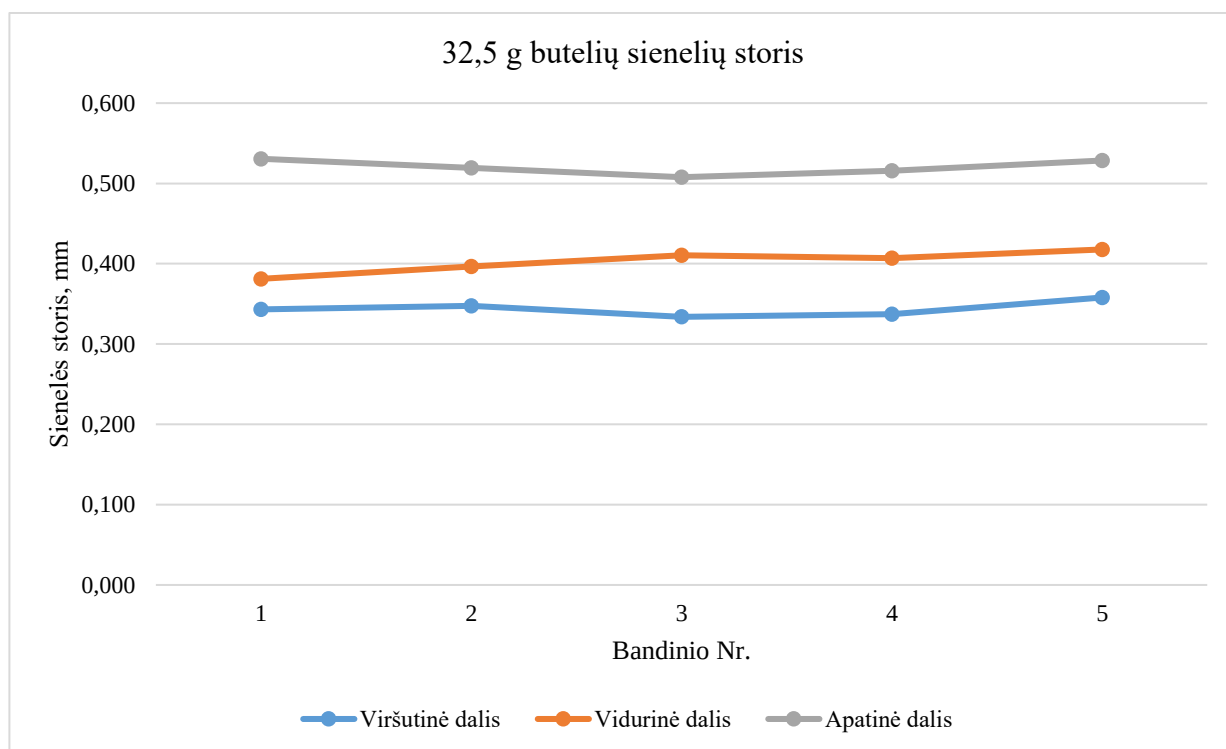
10 lentelė. Apskaičiuoti 29,5 g butelių sienelių storio vidurkiai

29,5 g butelių sienelių storis			
Bandinio Nr.	Apatinė dalis, mm	Viršutinė dalis, mm	Apatinė dalis, mm
1	0,248	0,341	0,443
2	0,236	0,333	0,435
3	0,262	0,342	0,441
4	0,244	0,335	0,445
5	0,259	0,337	0,444
Vidurkis:	0,250	0,338	0,442

Pagal pateiktus duomenis galima teigti, kad plastikas nėra tolygiai pasiskirstęs butelio sienelėse. Taip pat galima teigti, kad pagal plastiko pasiskirstymą apatinė butelio dalis yra stipresnė ir gali atlaikyti didesnes gniuždymo apkrovas nei viršutinė butelio dalis. Siekiant tolygesnio plastiko pasiskirstymo butelio sienelėse reikia koreguoti gamybinius parametrus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus.

Butelio, pagaminto iš 32,5 g masės ruošinio, sienelių matavimų rezultatai pateikiami toliau esančiame 26 paveiksle. Paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame atvaizduoti penkių bandinių sienelių storiai. Iš grafiko galime matyti, kad visų penkių bandinių ploniausia sienelė yra viršutinėje butelio dalyje, o

storiausia sienelė yra butelio apatinėje dalyje. Pagal pateiktą grafiką galime matyti, kad sienelių storis turi didesnę variaciją nei aukščiau nagrinėto 29,5 g butelio sienelės.



26 pav. 32,5 g butelių sienelių storis

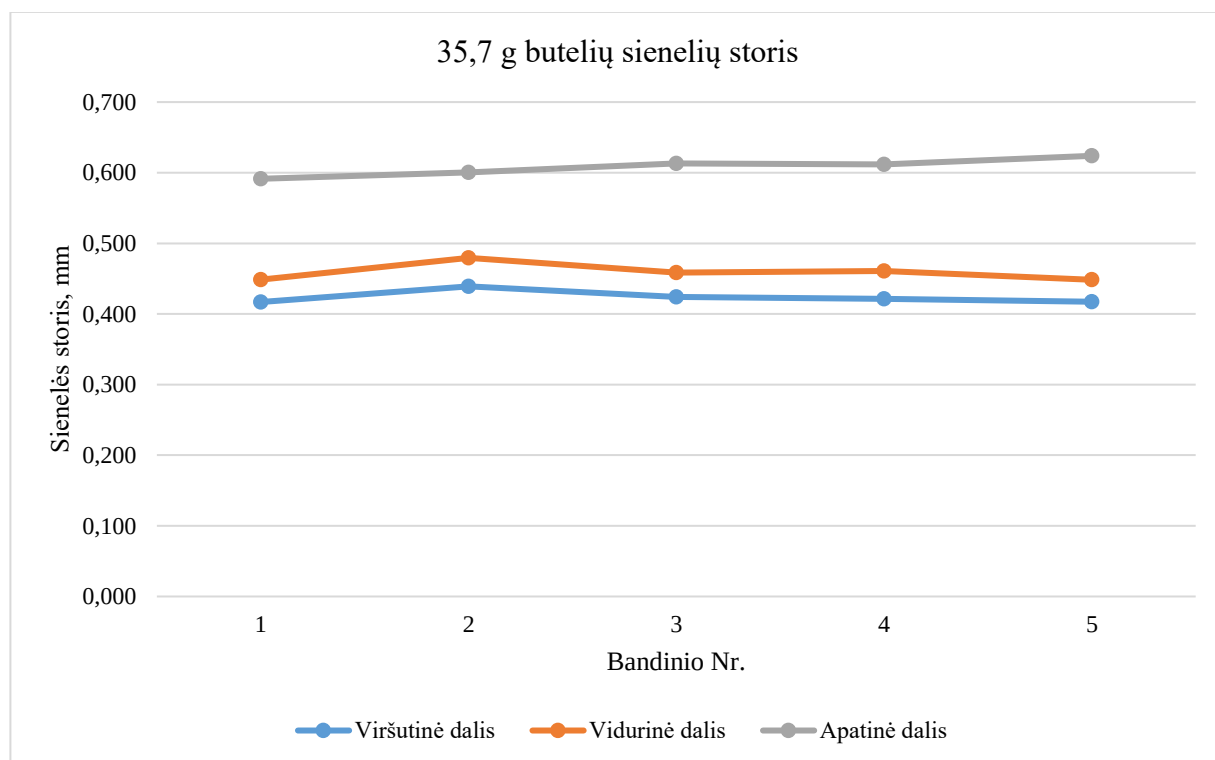
Toliau esančioje 11 lentelėje pateikiami apskaičiuoti sienelių storio vidurkiai bei apskaičiuotas bendras penkių bandinių sienelių storių vidurkis. Iš pateiktų duomenų galime matyti, kad 32,5 g masės butelių viršutinės dalies sienelės storis yra 0,344 mm, vidurinės dalies 0,403 mm, apatinės dalies 0,520 mm. Viršutinės dalies sienelės yra 0,059 mm plonesnės už vidurinės dalies sienelės ir 0,176 mm plonesnės už apatinės dalies sienelės.

11 lentelė. Apskaičiuoti 32,5 g butelių sienelių storio vidurkiai

32,5 g butelių sienelių storis			
Bandinio Nr.	Apatinė dalis, mm	Viršutinė dalis, mm	Apatinė dalis, mm
1	0,343	0,381	0,531
2	0,347	0,396	0,519
3	0,334	0,411	0,508
4	0,337	0,407	0,516
5	0,358	0,418	0,529
Vidurkis:	0,344	0,403	0,520

Pagal pateiktus duomenis galima teigti, kad plastikas nėra tolygiai pasiskirstęs butelio sienelėse. Taip pat galima teigti, kad pagal plastiko pasiskirstymą apatinė butelio dalis yra stipresnė ir gali atlaikyti didesnes gniuždymo apkrovas nei viršutinė butelio dalis. Siekiant tolygesnio plastiko pasiskirstymo butelio sienelėse reikia koreguoti gamybinius parametrus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus.

Butelio, pagaminto iš 35,7 g masės ruošinio, sienelių matavimų rezultatai pateikiami toliau esančiame 27 paveiksle. Paveiksle pateikiamas grafikas, kuriame atvaizduoti penkių bandinių sienelių storis. Iš grafiko galime matyti, kad visų penkių bandinių ploniausia sienelė yra viršutinėje butelio dalyje, o storiausia sienelė yra butelio apatinėje dalyje.



27 pav. 35,7 g butelių sienelių storis

Toliau esančioje 12 lentelėje pateikiami apskaičiuoti sienelių storio vidurkiai bei apskaičiuotas bendras penkių bandinių sienelių storio vidurkis. Iš pateiktų duomenų galime matyti, kad 35,7 g masės butelių viršutinės dalies sienelės storis yra 0,424 mm, vidurinės dalies 0,459 mm, apatinės dalies 0,608 mm. Viršutinės dalies sienelės yra 0,035 mm plonesnės už vidurinės dalies sienelės, o 0,184 mm plonesnės už apatinės dalies sienelės.

12 lentelė. Apskaičiuoti 35,7 g butelių sienelių storio vidurkiai

35,7 g butelių sienelių storis			
Bandinio Nr.	Apatinė dalis, mm	Viršutinė dalis, mm	Apatinė dalis, mm
1	0,417	0,449	0,591
2	0,439	0,479	0,600
3	0,424	0,459	0,613
4	0,421	0,461	0,612
5	0,417	0,448	0,624
Vidurkis:	0,424	0,459	0,608

Pagal pateiktus duomenis galima teigti, kad plastikas nėra tolygiai pasiskirstęs butelio sienelėse. Taip pat galima teigti, kad pagal plastiko pasiskirstymą apatinė butelio dalis yra stipresnė ir gali atlaikyti didesnes gniuždymo apkrovas nei viršutinė butelio dalis. Siekiant tolygesnio plastiko pasiskirstymo butelio sienelėse reikia koreguoti gamybinius parametrus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus.

Toliau esančioje 13 lentelėje pateikiami sienelių storio vidurkiai 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g masės butelių. Pagal pateiktus duomenis galima matyti, kad visų išmatuotų bandinių viršutinės dalies sienelės buvo ploniausios, o apatinės dalies sienelės storiausios. 29,5 g masės butelio sienelės yra ploniausios lyginant su 32,5 ir 35,7 g masės buteliais. Šio butelio viršutinės dalies sienelės yra 0,094 mm plonesnės už 32,5 g masės butelio, 0,174 mm plonesnės už 35,7 g masės butelį. Vidurinės dalies sienelės yra 0,065 mm plonesnės už 32,5 g masės butelį ir 0,121 mm plonesnės už 35,7 g masės butelį. Apatinės dalies sienelės 29,5 g masės butelio yra 0,078 mm plonesnės už 32,5 g masės butelį bei 0,166 mm plonesnės už 35,7 g masės butelį.

13 lentelė. Butelių sienelių storio rezultatai

Butelio masė, g	Viršutinė dalis, mm	Vidurinė dalis, mm	Apatinė dalis, mm
29,5	0,250	0,338	0,442
32,5	0,344	0,403	0,520
35,7	0,424	0,459	0,608

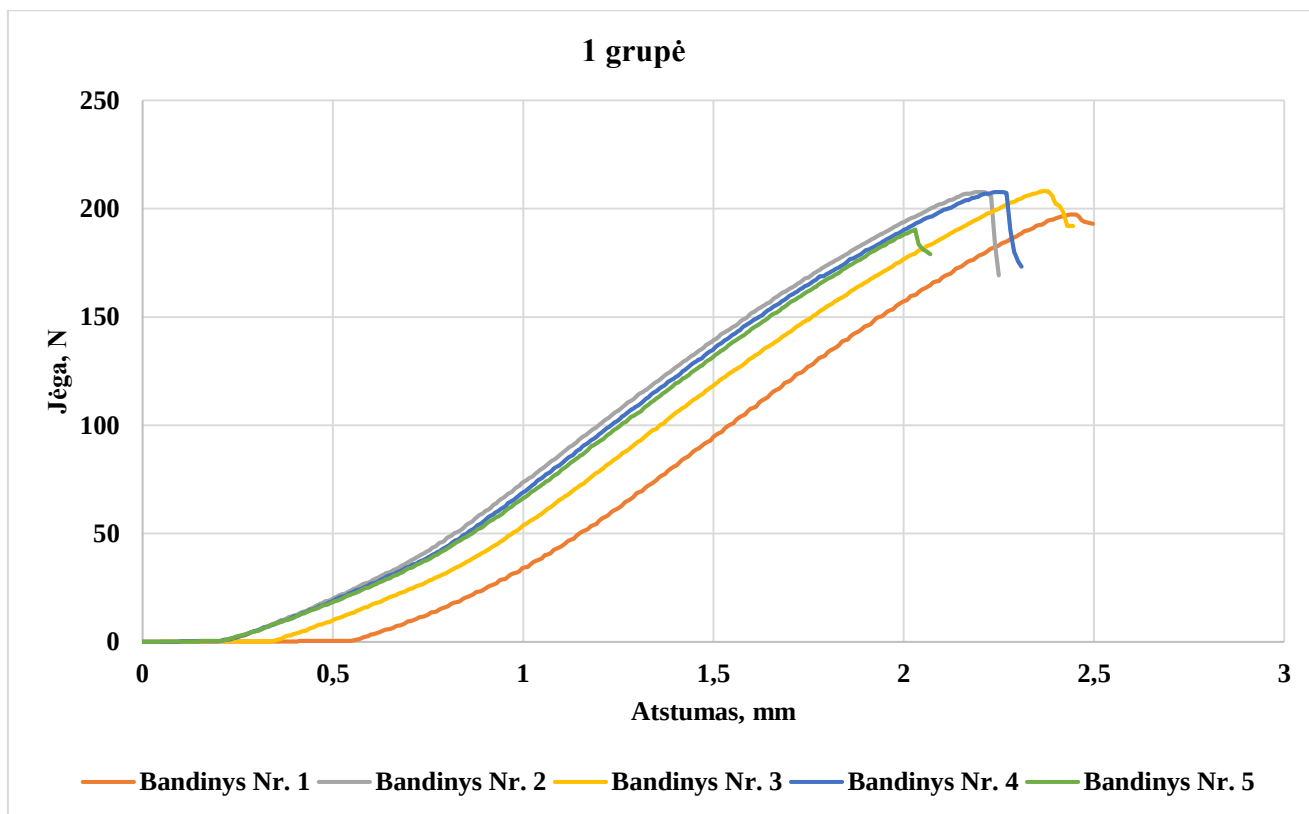
Pagal pateiktus duomenis aukščiau esančiuose paveiksluose ir lentelėse galima teigti, kad buteliuose, kurie pagaminti iš 29,5, 32,5, 35,7 g masės ruošinių, PET plastikas nėra tolygiai pasiskirstęs per visą butelio paviršių. Dėl šios priežasties viršutinės butelio sienelės yra plonesnės nei apatinės butelio sienelės, todėl atliekant gniuždymo bandymus viršutinės butelių sienelėse įvykdavo deformacijos. Norint paskirstyti PET plastiko kiekį butelio paviršiuje tolygiai, reikia koreguoti gamybinius parametrus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus, kol bus pasiektas tinkamas PET plastiko pasiskirstymas per visą butelio paviršių.

3.3. Gniuždymo tyrimo rezultatai

Atlikus gniuždymo tyrimo bandymus buteliams, pagamintiems iš skirtingų masių ruošinių, gauti rezultatai yra pateikiami toliau esančiuose paveiksluose ir nuotraukose. Gniuždymo tyrimo metu yra nustatyta, kokia didžiausia jėga (N) veikia butelį, kol įvyksta pirma deformacija. Iš viso buvo atlikta 30 bandymų: 15 bandymų buvo atlikta buteliams be kamštelio ir 15 bandymų buteliams su kamštelio.

3.3.1. Butelių be kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai

Pirmos grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 29,5 g buteliai be kamštelio, pateikiami toliau esančiame 28 paveiksle. Paveiksle matoma, kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga, kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimus jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



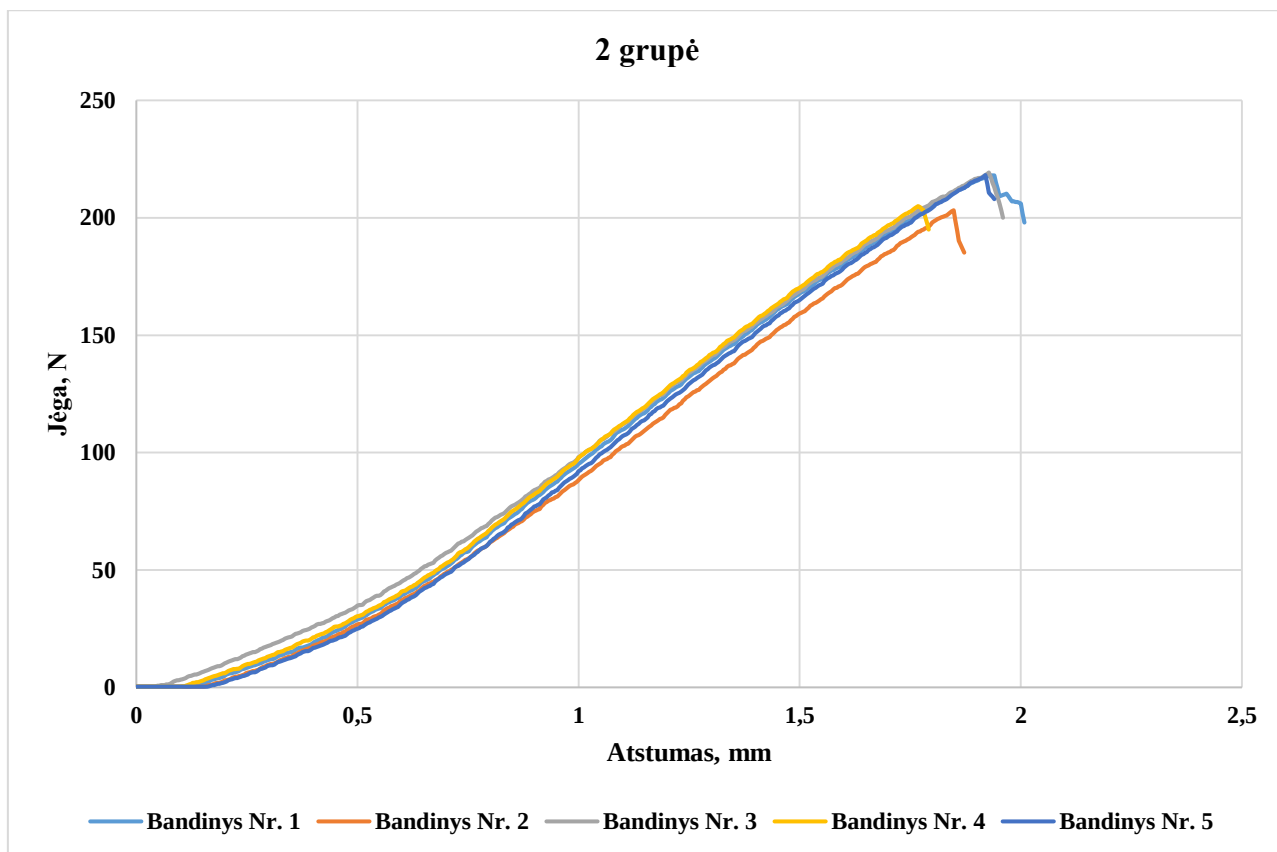
28 pav. 1 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (29,5 g butelio be kamštelio)

Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 29,5 g buteliai be kamštelio buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 14 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali jėgos reikšmė – 197,4 N, antrojo ir ketvirtojo bandymų metu – 207,8 N, trečiojo bandymo metu pasiekė didžiausią reikšmę – 208,3 N, o penktojo bandymo metu mažiausią reikšmę – 190,4 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 202,3 N.

14 lentelė. 1 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	197,4	207,8	208,3	207,8	190,4	202,3

Antros grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 32,5 g buteliai be kamštelio pateikiami toliau esančiame 29 paveiksle. Paveiksle matoma kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga, kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimą jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



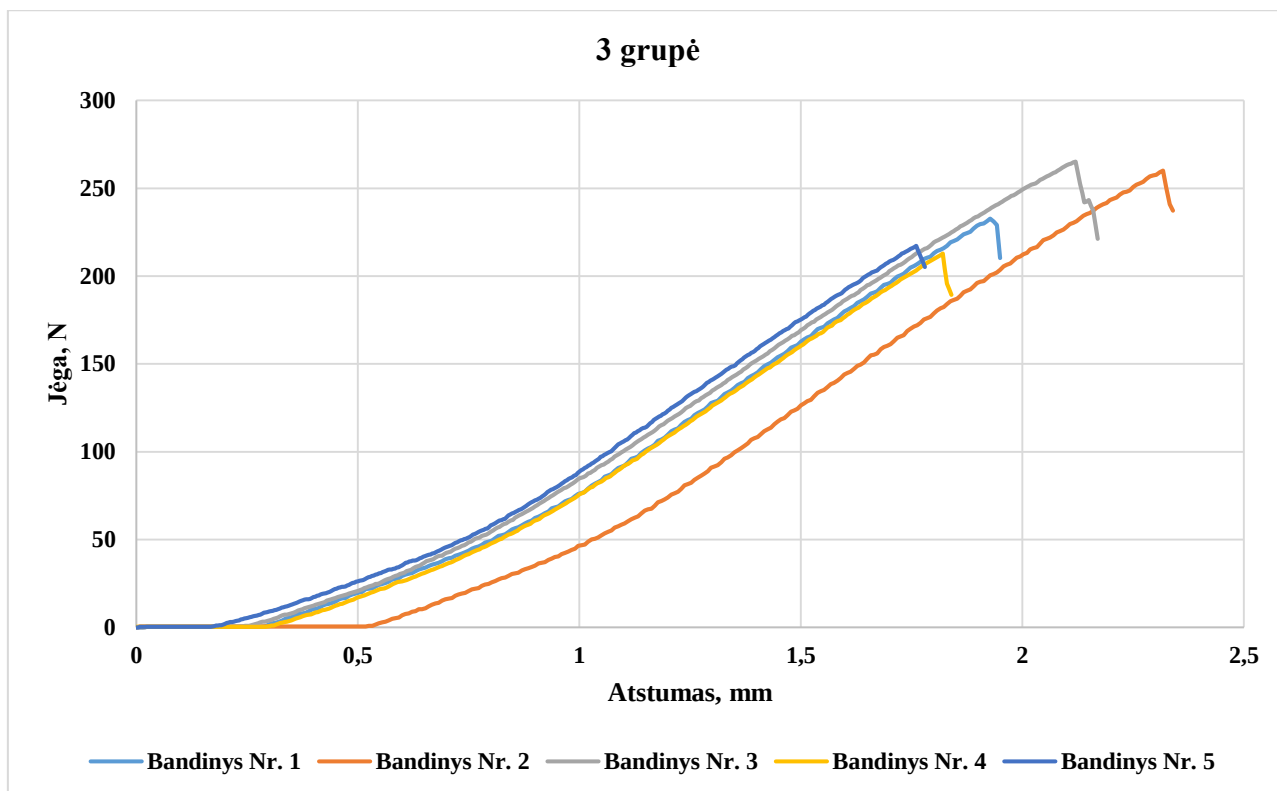
29 pav. 2 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (32,5 g butelio be kamštelio)

Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 32,5 g buteliai be kamštelio buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 15 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali jėgos reikšmė – 218 N, antrojo bandymo metu pasiekė mažiausią reikšmę – 203,3 N, trečiojo bandymo metu pasiekė didžiausią reikšmę – 219,3 N, ketvirto bandymo metu reikšmę – 205 N, penktojo bandymo metu – 218,3 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 212,8 N.

15 lentelė. 2 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	218	203,3	219,3	205	218,3	212,8

Trečios grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 35,7 g buteliai be kamštelio pateikiami toliau esančiame 30 paveiksle. Paveiksle matoma, kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga, kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimą jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



30 pav. 3 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (35,7 g butelio be kamštelio)

Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 35,7 g buteliai be kamštelio buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 16 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali jėgos reikšmė – 232,8 N, antrojo bandymo metu reikšmė – 260 N, trečiojo bandymo metu pasiekė didžiausią reikšmę – 265,2 N, ketvirto bandymo metu pasiekė mažiausią reikšmę – 212,8 N, penktojo bandymo metu – 217,3 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 237,6 N.

16 lentelė. 3 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	232,8	260	265,2	212,8	217,3	237,6

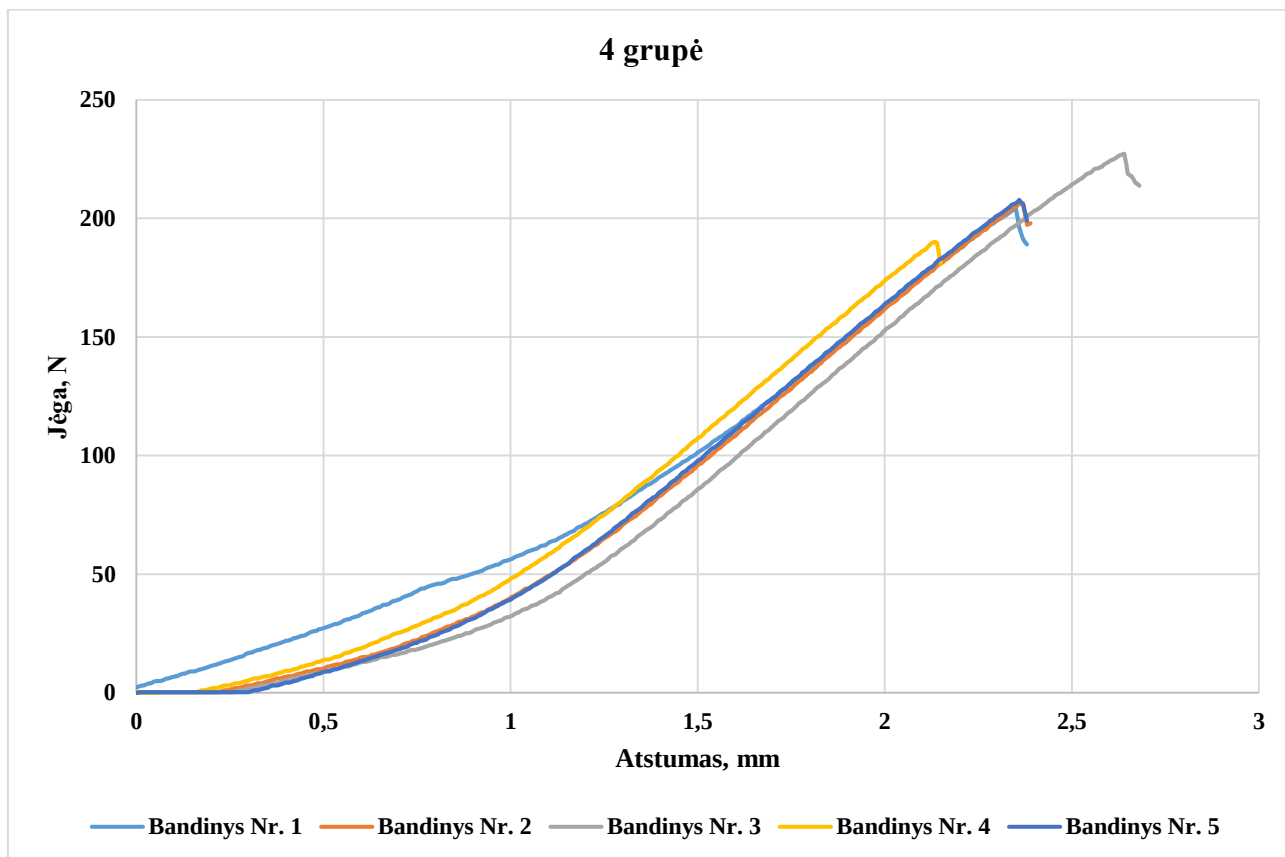
Toliau esančioje 17 lentelėje pateikiami apskaičiuoti gniuždymo jėgos vidurkiai, kurie buvo gauti atliekant gniuždymo bandymus su skirtingų masių buteliais be kamštelio. Nustatyta, kad mažiausią gniuždymo jėgą pasiekė 29,5 g buteliai, kurie buvo testuojami 1 grupėje – 202,3 N, didžiausią gniuždymo jėgą pasiekė 35,7 g buteliai, kurie buvo testuojami 3 grupėje – 237,6 N.

17 lentelė. Butelių be kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai

	1 grupė	2 grupė	3 grupė
Jėga (vidurkis), N	202,3	212,8	237,6

3.3.2. Butelių su kamšteliu gniuždymo tyrimo rezultatai

Ketvirtos grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 29,5 g buteliai su kamšteliu pateikiami toliau esančiame 31 paveiksle. Paveiksle matoma, kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga, kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimą jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



31 pav. 4 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (29,5 g butelio su kamšteliu)

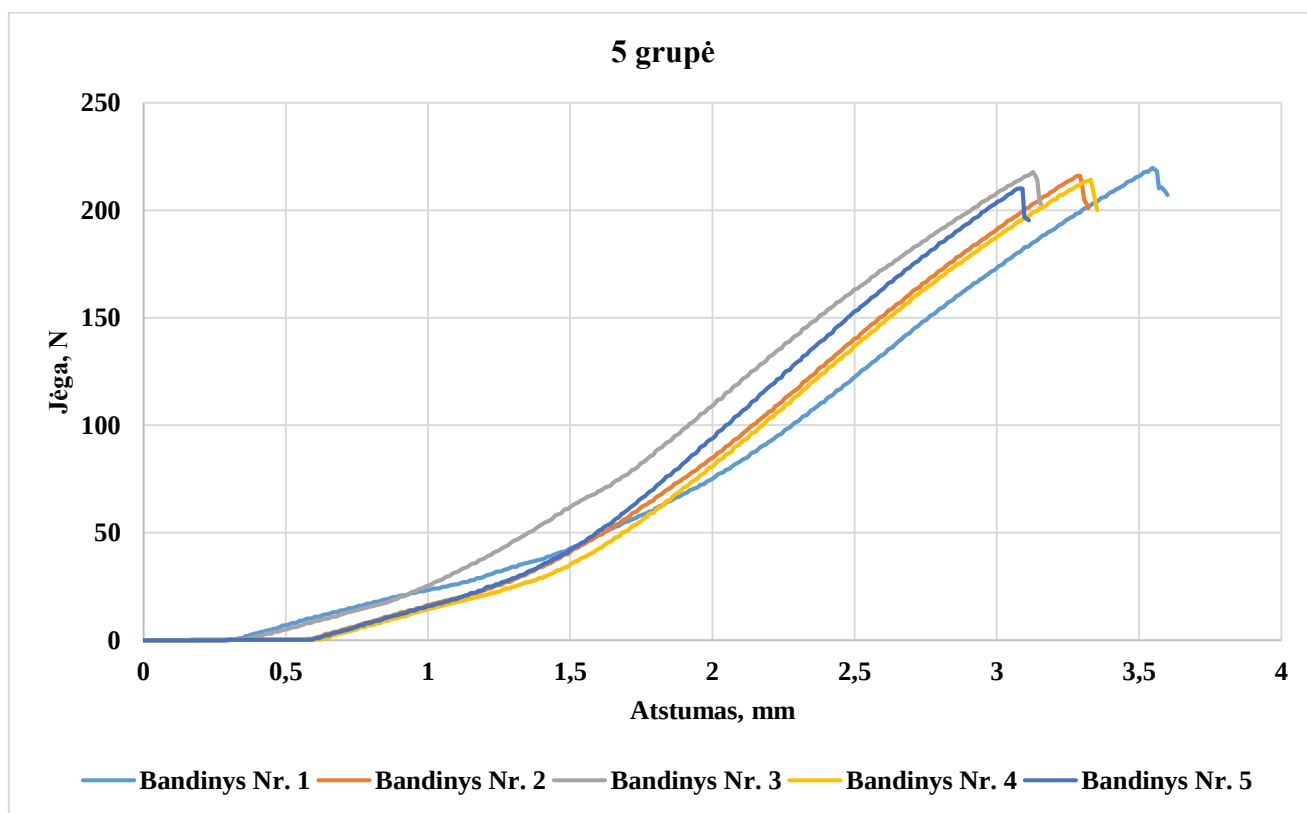
Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 29,5 g buteliai su kamšteliu buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 18 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali jėgos reikšmė – 204,3 N, antrojo bandymo metu reikšmė – 206,3 N, trečiojo bandymo metu pasiekė didžiausią reikšmę – 228,3 N, ketvirto bandymo metu pasiekė mažiausią reikšmę – 190 N, penktojo bandymo metu – 207,8 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 207,1 N.

18 lentelė. 4 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	204,3	206,3	228,3	190	207,8	207,1

Penktos grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 32,5 g buteliai su kamšteliu pateikiami toliau esančiame 32 paveiksle. Paveiksle matoma, kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga,

kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimą jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



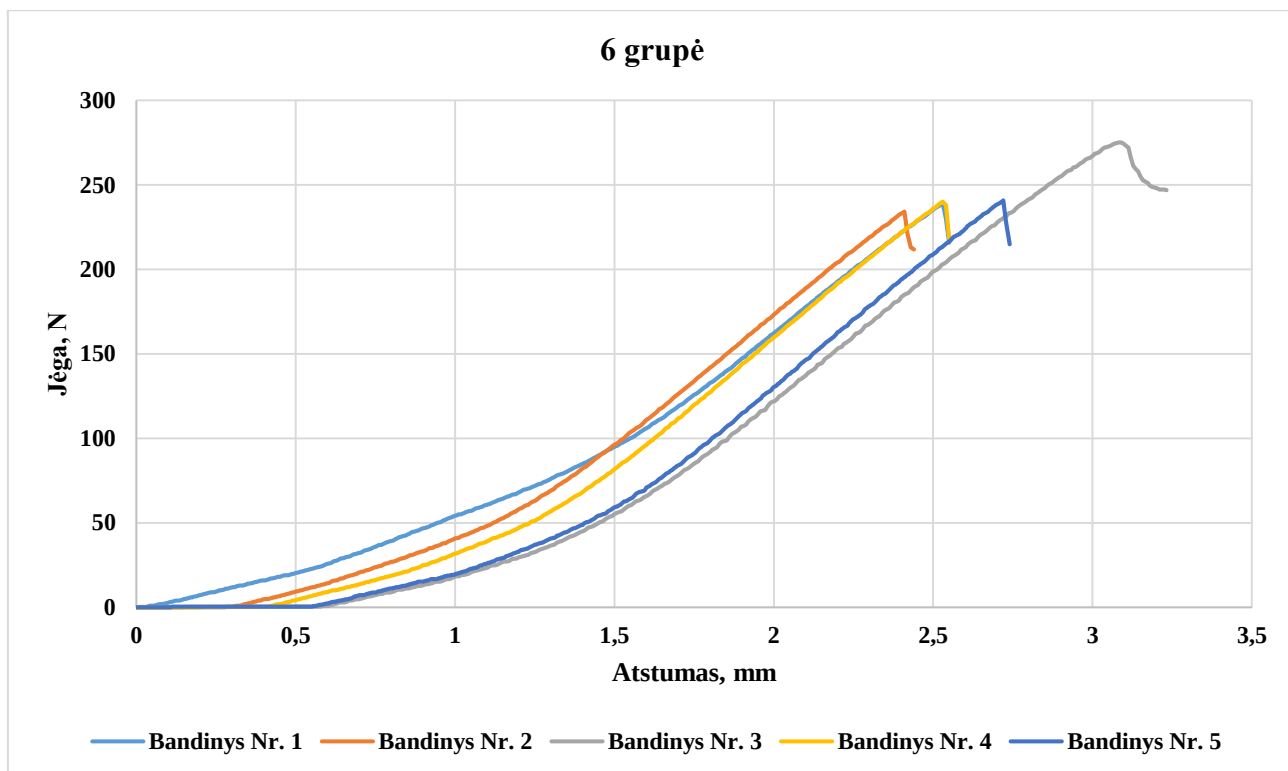
32 pav. 5 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (32,5 g butelio su kamštelio)

Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 32,5 g buteliai su kamštelio buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 19 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali gniuždymo jėga pasiekė didžiausią reikšmę – 219,8 N, antrojo bandymo metu reikšmė – 216 N, trečiojo bandymo metu reikšmė – 217,8 N, ketvirto bandymo metu reikšmė – 214,3 N, penktojo bandymo metu jėga pasiekė mažiausią reikšmę – 210,3 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 215,6 N.

19 lentelė. 5 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	219,8	216	217,8	214,3	210,3	215,6

Šeštos grupės gniuždymo tyrimo rezultatai, kai naudojami 35,7 g buteliai su kamštelio pateikiami toliau esančiame 33 paveiksle. Paveiksle matoma, kad gniuždymo įrangai judant žemyn didėja jėga, kuria yra veikiamas butelis, kol pasiekia maksimalią reikšmę ir įvyksta butelio deformacija, tuomet jėga sumažėja dėl butelio deformacijos. Paveiksle pateikiami 5 bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai. Iš paveikslo matyti, kad atliekant visų bandinių gniuždymo tyrimą jėga tolygiai augo iki tol, kol butelis patyrė deformaciją ir veikianti jėga sumažėdavo.



33 pav. 6 grupės bandinių gniuždymo tyrimas (35,7 g butelio su kamšteliu)

Nustatytos maksimalios jėgos (N) reikšmės, kuriomis 35,7 g buteliai su kamšteliais buvo veikiami prieš įvykstant deformacijai pateikiami toliau esančioje 20 lentelėje. Nustatyta, kad pirmojo bandymo metu maksimali gniuždymo jėgos reikšmė – 239 N, antrojo bandymo metu jėga pasiekė mažiausią reikšmę – 234,3 N, trečiojo bandymo metu jėga pasiekė didžiausią reikšmę – 275,2 N, ketvirto bandymo metu reikšmė – 240 N, penktojo bandymo metu reikšmė – 240,8 N. Apskaičiuota, kad penkių atliktų bandymų metu gniuždymo jėgos vidurkis yra 245,9 N.

20 lentelė. 6 grupės bandinių gniuždymo tyrimo rezultatai

	Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
Jėga (maksimali), N	239	234,3	275,2	240	240,8	245,9

Toliau esančioje 21 lentelėje pateikiami apskaičiuoti gniuždymo jėgos vidurkiai, kurie buvo gauti atliekant gniuždymo bandymus su skirtingų masių buteliais su kamšteliais. Nustatyta, kad mažiausią gniuždymo jėgą pasiekė 29,5 g buteliai, kurie buvo testuojami 4 grupėje – 207,1 N, didžiausią gniuždymo jėgą pasiekė 35,7 g buteliai, kurie buvo testuojami 6 grupėje – 237,6 N.

21 lentelė. Butelių su kamštelio gniuždymo tyrimo rezultatai

	4 grupė	5 grupė	6 grupė
Jėga (vidurkis), N	207,1	215,6	245,9

3.3.3. Gniuždymo tyrimų palyginimas

Atlikus gniuždymo bandymus su buteliais pagamintais iš 29,5 g, 32,5 g ir 35,7 g ruošinių, kurie buvo testuojami su kamštelio ir be kamštelio gautų rezultatų palyginimas pateikiamas toliau esančiose lentelėse. Palyginimas atliktas norint įvertinti, kokią įtaką butelio stiprumui gniuždant turės kamštelio užsikimimas.

Toliau esančioje 22 lentelėje pateikiami 29,5 g butelio gniuždymo tyrimų rezultatai, kurie buvo atlikti su užsuktu kamštelio ir be kamštelio. Nustatyta, kad atliekant gniuždymo bandymus buteliui be kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 190,4 N, buteliui su kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 190 N. Didžiausia jėgos reikšmė gauta atliekant gniuždymo tyrimus su buteliais be kamštelio 208,3 N, butelių su kamštelio 228,3 N.

22 lentelė. 29,5 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai

		Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
1. Buteliai be kamštelio	Jėga, N	197,4	207,8	208,3	207,8	190,4	202,3
2. Buteliai su kamštelio	Jėga, N	204,3	206,3	228,3	190	207,8	207,1

Apskaičiavus gniuždymo jėgų vidurkį buvo gauti rezultatai, kad 29,5 g buteliai atliekant gniuždymo tyrimus be kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 202,3 N apkrovą, o buteliai su kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 207,1 N gniuždymo jėgos apkrovą. Jėgos skirtumas tarp gautų rezultatų be kamštelio ir su kamštelio 4,8 N. Galima pastebėti, kad gautas skirtumas nėra didelis, todėl kamštelio panaudojimas įtakos butelio stiprumui neturi.

Toliau esančioje 23 lentelėje pateikiami 32,5 g butelio gniuždymo tyrimų rezultatai, kurie buvo atlikti su užsuktu kamštelio ir be kamštelio. Nustatyta, kad atliekant gniuždymo bandymus buteliui be kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 203,3 N, buteliui su kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 210,3 N. Didžiausią jėgos reikšmę gauta atliekant gniuždymo tyrimus su buteliais be kamštelio 219,3 N, butelių su kamštelio 219,8 N.

23 lentelė. 32,5 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai

		Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
1. Buteliai be kamštelio	Jėga, N	218	203,3	219,3	205	218,3	212,8
2. Buteliai su kamštelio	Jėga, N	219,8	216	217,8	214,3	210,3	215,6

Apskaičiavus gniuždymo jėgų vidurkį buvo gauti rezultatai, kad 32,5 g buteliai atliekant gniuždymo tyrimus be kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 212,8 N apkrovą, o buteliai su kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 215,6 N gniuždymo jėgos apkrovą. Jėgos skirtumas tarp gautų rezultatų be kamštelio ir su kamštelio 2,8 N. Galima pastebėti, kad gautas skirtumas nėra didelis, todėl kamštelio panaudojimas įtakos butelio stiprumui neturi.

Toliau esančioje 24 lentelėje pateikiami 35,7 g butelio gniuždymo tyrimų rezultatai, kurie buvo atlikti su užsuktu kamštelio ir be kamštelio. Nustatyta, kad atliekant gniuždymo bandymus buteliui be kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 212,8 N, buteliui su kamštelio mažiausia gniuždymo jėga iki deformacijos 234,3 N. Didžiausią jėgos reikšmę gauta atliekant gniuždymo tyrimus su buteliais be kamštelio 265,2 N, butelių su kamštelio 275,2 N.

24 lentelė. 35,7 g butelių gniuždymo tyrimų rezultatai

		Bandinys Nr. 1	Bandinys Nr. 2	Bandinys Nr. 3	Bandinys Nr. 4	Bandinys Nr. 5	Vidurkis
1. Buteliai be kamštelio	Jėga, N	232,8	260	265,2	212,8	217,3	237,6
2. Buteliai su kamštelio	Jėga, N	239	234,3	275,2	240	240,8	245,9

Apskaičiavus gniuždymo jėgų vidurkį buvo gauti rezultatai, kad 32,5 g buteliai atliekant gniuždymo tyrimus be kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 212,8 N apkrovą, o buteliai su kamštelio vidutiniškai gali atlaikyti 215,6 N gniuždymo jėgos apkrovą. Jėgos skirtumas tarp gautų rezultatų be kamštelio ir su kamštelio 2,8 N. Galima pastebėti, kad gautas skirtumas nėra didelis, todėl kamštelio panaudojimas įtakos butelio stiprumui neturi.

3.4. Skyriaus apibendrinimas

Atlikus bandinių, pagamintų iš skirtingos masės ruošinių, vizualinę patikrą buvo nustatyta, kad buteliai pagaminti iš 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g ruošinių atitinka jiems keliamus matmenų ir formos reikalavimus. Buvo pastebėta, kad pagamintų butelių dugnuose ir prie kakliuko pastebimas perteklinis plastiko kiekis.

Duomenys gauti atlikus PET butelių sienelių storio matavimus parodė, kad plastikas buteliuose pagamintuose iš skirtingos masės 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g ruošinių pasiskirstęs nevienodai. Viršutinės butelių sienelės plonesnės lyginant su apatinėmis sienelėmis, dėl šios priežasties viršutinė butelio dalis yra silpnesnė nei apatinė butelio dalis, todėl atliekant gniuždymo tyrimus butelio deformacijos įvykdavo viršutinėje butelio dalyje. PET plastiko tolygesniam paskirstymui reikia koreguoti gamybinius nustatymus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus.

Gniuždymo tyrimų rezultatų analizė parodė, kad maksimalios gniuždymo jėgos reikšmė prieš butelio deformaciją mažai skiriasi atliekant bandymus su buteliais be kamštelio ir su buteliais, kuriems buvo užsuktas kamštelis, todėl galima teigti, kad kamštelio užsukimas netūrėjo įtakos butelio atsparumui gniuždymo jėgai. Remiantis gautais gniuždymo tyrimų rezultatais buteliai, pagaminti iš 35,7 g masės ruošinio, atlaikė 237,6 N gniuždymo jėgos apkrovą ir viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus 2,7 karto. Buteliai, pagaminti iš 32,5 g masės ruošinių, atlaikė 212,8 N gniuždymo jėgos apkrovą ir viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus 2,7 karto. Buteliai, pagaminti iš 29,5 g masės ruošinio, atlaikė 212,8 N gniuždymo jėgos apkrovą ir viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus 2,9 karto.

4. Socio-ekonominė, aplinkosaugos dalis

4.1. Aplinkosauginė dalis

Atlikus gniuždymo tyrimus buteliams buvo nustatyta, kokią įtaką butelio stiprumui turi plastiko kiekis ruošiniuose. Toliau esančioje 25 lentelėje pateikiama butelių gamybos analizė, kurioje analizuojama vienos dienos gamyba. Lentelėje pateikiami duomenys, kiek plastiko suvartojama per vieną gamybos pamainą.

25 lentelė. Butelių gamybos analizė

Butelio masė, g	29,5	32,5	35,7
Gamybinis našumas, vnt./h	9 000		
Pamainos trukmė, h	8		
Produkcijos kiekis per pamainą, vnt.	72 000		
PET plastiko suvartojimas, kg	2 124	2 340	2 570,4

Gamybinis našumas gaminant 1,0 l tūrio plastikinius butelius yra 9000 vienetų per valandą. Viena gamybinė pamaina be pietų pertraukos trunka 8 valandas. Per vieną pamainą galima pagaminti 72 000 vienetų butelių. Gaminant butelius iš 29,5 g masės ruošinių ir atliekant gamybą visą pamainą sunaudojamas PET plastiko kiekis 2 124 kg. Gamyboje naudojant 32,5 g masės ruošinius per vieną pamainą sunaudojamas plastiko kiekis 2 340 kg. Šiuo metu gamyba 1,0 l tūrio butelių yra atliekama iš 35,7 g masės ruošinių ir per 8 valandų pamainą sunaudojama 2 570,4 kg PET plastiko.

Pakeitus dabartinį 35,7 g ruošinį mažesnės masės ruošiniu būtų galima sumažinti suvartojamo plastiko kiekį gamyboje. Pakeitus 35,7 g masės ruošinį į 32,5 g ruošinį suvartojamas plastiko kiekis būtų sumažinamas 9,85 % arba 230,4 kg per vieną gamybos pamainą. Sumažinus ruošinio masę iki 32,5 g atsparumas gniuždymo jėgai sumažėtų nuo 237,6 N iki 212,8 lyginant su 35,7 g masės ruošiniu. Atsparumas gniuždymo jėgai sumažėtų 11,65 % arba 24,8 N. Todėl pakeitus 35,7 g ruošinį į 32,5 g masės ruošinį būtų galima sumažinti PET plastiko suvartojimą 9,85 % prarandant 11,65 % atsparumą gniuždymui.

Šiuo metu naudojamą 35,7 g masės ruošinį taip pat būtų galima pakeisti į 29,5 g masės ruošinį. Pakeitus 35,7 g masės ruošinį į 32,5 g ruošinį suvartojamas plastiko kiekis būtų sumažinamas 21,02 % arba 446,4 kg per vieną gamybos pamainą. Sumažinus ruošinio masę iki 29,5 g atsparumas gniuždymo jėgai sumažėtų nuo 237,6 N iki 202,3 N lyginant su 35,7 g masės ruošiniu. Atsparumas gniuždymo jėgai sumažėtų 17,45 % arba 35,8 N. Todėl pakeitus 35,7 g masės ruošinį į 29,5 g masės ruošinį būtų galima sumažinti suvartojamą PET plastiko kiekį 21,02 % prarandant 17,45 % atsparumą gniuždymui.

4.2. Ekonominė dalis

Sumažinus plastiko kiekį PET ruošiniuose galima sumažinti ne tik sunaudojamo plastiko kiekį, bet taip pat ir produkto savikainą. Toliau esančioje 26 lentelėje pateikiami duomenys apie vyraujančias ruošinių rinkos kainas. Kaina nustatoma apskaičiavus vidurkį kainų, kurias pateikia ruošinių tiekėjai.

Nustatyta, kad 29,5 g ruošinys rinkoje vidutiniškai kainuoja 0,048 Eur, 32,5 g ruošinys 0,052 Eur, 35,7 g ruošinys 0,059 Eur.

26 lentelė. Ruošinių rinkos kaina

	Kaina, Eur (vnt.)				Vidurkis
29,5 g ruošiniai	0,049	0,047	0,052	0,042	0,048
32,5 g ruošiniai	0,053	0,050	0,056	0,048	0,052
35,7 g ruošiniai	0,062	0,055	0,065	0,052	0,059

Atlikus rinkos kainos tyrimus yra apskaičiuojama, kiek sumažėja gamybiniai kaštai gaminant 1,0 l tūrio PET butelius. Gamybinių kaštų pokytis vertinamas apskaičiavus, kiek kainuotų ruošiniai gaminant butelius vieną valandą. Toliau esančioje 27 lentelėje pateikiamas kainų palyginimas atliekant gamybą su skirtingos masės ruošiniais.

27 lentelė. Kainų palyginimas

Ruošinio masė, g	29,5	32,5	35,7
Kaina Eur/vnt.	0,048	0,052	0,059
Gamybinis našumas vnt./h	9000		
Kaina Eur	432	468	531

Vykdam gamybą su 35,7 g ruošiniais, kurie kainuoja 0,059 Eur, vienos valandos gamybos kaina 531 Eur įvertinant tik ruošinių kainą. Pakeitus 35,7 g ruošinį į lengvesnį 32,5 g masės ruošinį, kuris kainuoja 0,052 Eur, vienos valandos gamybos kaina būtų 468 Eur įvertinant tik ruošinių kainą. Butelių gamybos kaina per valandą už ruošinius sumažėtų 63 Eur. Pakeitus 35,7 g ruošinį į dar lengvesnį 29,5 g masės ruošinį, kuris kainuoja 0,048 Eur, vienos valandos gamybos kaina būtų 432 Eur įvertinant tik ruošinių kainą. Butelių gamybos kaina už ruošinius per valandą sumažėtų 99 Eur. Galima daryti išvadą, kad pakeitus 35,7 g ruošinį į lengvesnį 32,5 g arba 29,5 g ruošinį galima sumažinti gamybinius kaštus vertinant vien tik ruošinių kainą.

4.3. Skyriaus apibendrinimas

Sumažinus plastiko kiekį ruošiniuose iš dabar naudojamų 35,7 g masės į mažesnės masės ruošinius 32,5 g ar 29,5 g galima sumažinti sunaudojamą plastiko kiekį gamybos procese. Pakeitus 35,7 g masės ruošinį į 32,5 g ruošinį per vieną gamybos pamainą, kuri trunka 8 valandas, būtų galima sumažinti sunaudojamo plastiko kiekį 230,4 kg, sumažinus naudojamą ruošinį iki 29,5 masės ruošinių sunaudojamas plastiko kiekis būtų sumažinamas 446,4 kg per vieną gamybos pamainą. Plastiko kiekio sumažinimas ruošiniuose turėtų ne tik aplinkosauginę naudą, bet ir ekonominę. Dabar naudojamų 35,7 g masės ruošinių valandinė gamybinė savikaina už ruošinius yra 531 Eur, sumažinus ruošinio masę iki 32,5 g galima sumažinti valandinę gamybinę savikainą už ruošinius 63 Eur, sumažinus ruošinių masę dar daugiau iki 29,5 g valandinė gamybinė savikainą būtų galima sumažinti 99 Eur.

Išvados

1. Remiantis analizuota literatūra ir moksliniuose straipsniuose pateikta informacija, butelių gamybos procese dažniausiai naudojami polimerai yra PET, HDPE, LDPE ir PP, kurie pasižymi geromis termoplastinėmis savybėmis. Pats butelių gamybos procesas gali būti vykdomas pritaikant tris gamybos technologijas: ekstruzijos, išpurškimo, ištempimo ir išpūtimo. Gėrimų pramonėje daugiausiai naudojamas PET polimeras, iš kurio buteliai gaminami ištempimo ir išpūtimo technologija. Todėl tolimesniam darbui buvo pasirinkti 35,7 g, 32,5 g ir 29,5 g masės PET ruošiniai butelių gamybai, norint įvertinti, kokią įtaką plastiko kiekio sumažinimas turės 1,0 l tūrio kvadratiniais buteliams.
2. Remiantis duomenimis, kurie gauti atlikus butelių sienelių storio matavimus galima teigti, kad buteliuose, pagamintuose iš 29,5 g, 32,5 g, 35,7 g masės PET ruošinių plastikas nėra tolygiai pasiskirstęs sienelėse. Viršutinės butelio dalies sienelės yra plonesnės nei apatinės butelio dalies sienelės, dėl šios priežasties atliekant gniuždymo tyrimo bandymus pirmiausiai deformuodavosi viršutinės butelio sienelės. Tolygiam plastiko paskirstymui reikia koreguoti butelių gamybinius parametrus ir pakartotinai atlikti sienelių storio matavimus.
3. Atlikus PET butelių atsparumo gniuždymui tyrimus nustatyta, kad buteliai pagaminti iš 35,7 g masės ruošinio gali atlaikyti 237,6 N gniuždymo jėgos apkrovą bei 2,7 karto viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus. Buteliai pagaminti iš 32,5 g masės ruošinių gali atlaikyti 212,8 N gniuždymo jėgą ir 2,7 karto viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus. Iš 29,5 g masės ruošinių pagaminti buteliai gali atlaikyti 202,3 N gniuždymo jėgą ir 2,9 karto viršijo gamintojo gniuždymo jėgai keliamus reikalavimus. Remiantis gautais tyrimų rezultatais galima teigti, kad plastiko kiekio sumažinimas PET buteliuose turi minimalią įtaką butelio atsparumui gniuždymo jėgai. Norint pilnai įvertinti plastiko kiekio sumažinimo daromą įtaką PET buteliuose, toliau reiktų atlikti bandymus su pagamintais buteliais kituose gėrimų pramonės gamybos procesuose.
4. Apskaičiuota, kad sumažinus plastiko kiekį PET buteliuose iš dabar naudojamų 35,7 g į 32,5 g masės ruošinius per vieną gamybos pamainą, kuri trunka 8 valandas, būtų galima sumažinti sunaudojamo plastiko kiekį 230,4 kg. Suvartojamo plastiko kiekis sumažėtų 9,85 %. Sumažinus plastiko kiekį PET buteliuose iki 29,5 g sunaudojamo plastiko kiekis sumažėtų 21,02 % arba 446,4 kg per vieną gamybos pamainą. Remiantis apskaičiuotais duomenimis galima teigti, kad plastiko kiekio sumažinimas PET buteliuose yra naudingas aplinkai, nes sumažinamas suvartojamas plastiko kiekis.
5. Atlikti ekonominiai skaičiavimai, kurių metu įvertintas PET ruošinių kainos kitimas sumažinus plastiko kiekį. Nustatyta, kad skirtingos masės ruošinių kainų skirtumas nėra didelis. 35,7 g ruošinio kaina 0,059 Eur, 32,5 g 0,052 Eur, 29,5 g 0,048 Eur, tačiau PET buteliai gaminami dideliais kiekiais. Per vieną gamybos valandą pagaminami 9000 vnt. butelių. Pakeitus dabar naudojamą 35,7 g ruošinį į 32,5 g būtų sutaupomi 63 Eur. Sumažinus ruošinį iki 29,5 g per vieną gamybos valandą būtų sutaupomi 99 Eur. Atsižvelgiant į gautus rezultatus galima teigti, kad plastiko kiekio sumažinimas PET buteliuose turi teigiamą ekonominę naudą.

Literatūros sąrašas

1. GOH, X.Y. ir kt. Fabrication and properties of polyethylene terephthalate (PET) aerogel composites from plastic bottle waste. In [interaktyvus]. 2023. Vol. 37, p. 107625. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492823023164>>.
2. Top Quality Plastic Bottles | Affordable Water Bottles - GBS. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <<https://www.generalbottle.com/water-bottles.html>>.
3. WELLE, F. The facts about PET (update 2018).
4. LUU, T.T.A. - BAKER, J.R. Exploring Consumers' Purchase Intention of rPET Bottle-Based Apparel in an Emerging Economy. In [interaktyvus]. 2021. Vol. 7, no. 1, p. 22. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853122007910>>.
5. JAIME, S.B.M. ir kt. Moisture and oxygen barrier properties of glass, PET and HDPE bottles for pharmaceutical products. In [interaktyvus]. 2022. Vol. 71, p. 103330. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1773224722002404>>.
6. PACKAGING, A.H. White Pack HDPE Syrup Bottles. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <<https://adelphi-hp.com/product-range/hdpe-syrup-bottle>>.
7. DEVLIEGHERE, F. ir kt. Evaluation of recycled HDPE milk bottles for food applications. In [interaktyvus]. 1998. Vol. 15, no. 3, p. 336–345. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1080/02652039809374649>>.
8. ALNAIMI, S. ir kt. Structural, Thermal and Morphology Characteristics of Low Density Polyethylene Produced by QAPCO. 2015.
9. Wide neck plastic bottle - Series 303 LDPE from CJK Packaging. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <<https://cjk.co.uk/product/wide-neck-plastic-bottle-series-303-ldpe/>>.
10. TECHAWINYUTHAM, L. ir kt. Recycled LDPE/PETG blends and HDPE/PETG blends: mechanical, thermal, and rheological properties. In [interaktyvus]. 2021. Vol. 15, p. 2445–2458. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421010334>>.
11. MADDHA, H.A. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. In [interaktyvus]. 2016. Vol. 6, no. 1, p. 1–11. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <<http://article.sapub.org/10.5923.j.ajps.20160601.01.html>>.
12. BARLETTA, M. ir kt. Extrusion blow molding of environmentally friendly bottles in biodegradable polyesters blends. In [interaktyvus]. 2019. Vol. 77, p. 105885. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941819300509>>.
13. MICHAEL, T. Extrusion Blow Molding. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-11-16]. . Prieiga per internetą: <https://www.hanserpublications.com/SampleChapters/9781569908419_9781569908402.pdf>.
14. GREENE, J.P. 15 - Blow Molding. Sud. Joseph P. Greene. [s.l.]: William Andrew Publishing, 2021. 9 p. ISBN 9780128180082.
15. MADERTHANER, J. ir kt. Optimal control of the part mass for the injection molding process. In [interaktyvus]. 2023. Vol. 129, p. 103027. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959152423001142>>.
16. Applying the Life Cycle Assessment (LCA) to Estimate the Environmental Impact of Selected Phases of a Production Process of Forming Bottles for Beverages | SpringerLink. In

- [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2023-11-16]. . Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77127-0_7#citeas>.
17. SELKE, S.E.M. ir kt. 12 - Blow Molding and Bottles. Sud. Susan E. M. Selke, John D. Culter, Rafael A. Auras, ir Muhammad Rabnawaz. Oxford: Hanser, 2021. 37 p. ISBN 9781569908228.
 18. AWAJA, F. - PAVEL, D. Injection stretch blow moulding process of reactive extruded recycled PET and virgin PET blends. In [interaktyvus]. 2005. Vol. 41, no. 11, p. 2614–2634. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305705002272>>.
 19. BRANDAU, O. 8 - Injection Stretch Blow Molding Machines. Sud. Ottmar Brandau. Oxford: William Andrew Publishing, 2012. 24 p. ISBN 9781437735277.
 20. FILHO, W.L. ir kt. An assessment of attitudes towards plastics and bioplastics in Europe. In [interaktyvus]. 2021. Vol. 755, p. 142732. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720362616>>.
 21. SOMLAI, C. ir kt. Plastic packaging waste in Europe: Addressing methodological challenges in recording and reporting. In [interaktyvus]. 2023. Vol. 41, no. 6, p. 1134–1143. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1177/0734242X221142192>>.
 22. Statistics | Eurostat. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-11-16]. . Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waspac/default/line?lang=en>.
 23. PHELAN, A. (Any) ir kt. Plastic pollution and packaging: Corporate commitments and actions from the food and beverage sector. In [interaktyvus]. 2022. Vol. 331, p. 129827. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621040014>>.
 24. SEWWANDI, M. ir kt. Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. In [interaktyvus]. 2023. Vol. 317, p. 120747. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122019613>>.
 25. NIKAM, M. ir kt. Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic. In [interaktyvus]. 2023. Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323044760>>.
 26. RETAL. Ruošinių specifikacijos.
 27. KOSME. K6R1611 naudojimo instrukcija.
 28. Tinius Olson Universal Tester R&D Mereco Technologies. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2023-12-03]. Prieiga per internetą: <<http://www.mereco.com/our-company/universal-tester>>.

Priedai

1 priedas. „Kosme“ butelių gamintojo gniuždymo jėgos nurodymai.

PLASTIC TECHNOLOGY



5. Topload

Measurement of the vertical load of the empty bottle before the empty bottle collapses (peak load). The piston speed of the measuring unit should be 510 mm/min.

Test bottles for carbonated filling should be able to carry a mean load of $k \times 140$ N. Test bottles for uncarbonated filling should be able to carry a mean load of $k \times 90$ N, because of lower wall thickness.

The factor k is calculated as follows:

$$k = \frac{\text{Preform weight} - \text{Screw thread weight}}{\text{Weight according to table}}$$

Nominal volumen [l]	2,5	2	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25
Preform weight [g]	67	48	41	37	33	30	23	17

6. Base clearance

Test bottles which are carbonated according to their filling and stored for 24 h at 38°C have to prove a base clearance $> 0,0$ mm.

This test can be performed only locally by the client (depending on the content of the carbonation).

2 priedas. 29,5 g butelių sienelių matavimo rezultatai

29,5 g butelis Nr. 1			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,244	0,304	0,435
2	0,229	0,334	0,415
3	0,285	0,380	0,426
4	0,242	0,323	0,439
5	0,245	0,342	0,455
6	0,240	0,307	0,458
7	0,231	0,358	0,422
8	0,249	0,334	0,457
9	0,289	0,320	0,443
10	0,226	0,363	0,460
11	0,235	0,370	0,456
12	0,261	0,354	0,455
Vidurkis:	0,248	0,341	0,443

29,5 g butelis Nr. 2			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,238	0,323	0,428
2	0,243	0,318	0,432
3	0,236	0,332	0,426
4	0,225	0,321	0,418
5	0,239	0,318	0,431
6	0,228	0,309	0,446
7	0,237	0,339	0,431
8	0,240	0,343	0,427
9	0,238	0,350	0,439
10	0,236	0,346	0,443
11	0,229	0,343	0,447
12	0,239	0,353	0,453
Vidurkis:	0,236	0,333	0,435

29,5 g butelis Nr. 3			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,241	0,352	0,415
2	0,238	0,343	0,426
3	0,297	0,331	0,418
4	0,267	0,342	0,438
5	0,278	0,346	0,446
6	0,263	0,342	0,467
7	0,257	0,337	0,453
8	0,269	0,328	0,428
9	0,261	0,342	0,431
10	0,259	0,338	0,442
11	0,252	0,346	0,458
12	0,261	0,353	0,469
Vidurkis:	0,262	0,342	0,441

29,5 g butelis Nr. 4			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,238	0,342	0,444
2	0,243	0,321	0,438
3	0,236	0,338	0,426
4	0,248	0,329	0,432
5	0,239	0,340	0,451
6	0,252	0,336	0,438
7	0,236	0,330	0,443
8	0,248	0,328	0,449
9	0,239	0,349	0,457
10	0,258	0,342	0,446
11	0,249	0,336	0,453
12	0,242	0,328	0,459
Vidurkis:	0,244	0,335	0,445

29,5 g butelis Nr. 5			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,285	0,334	0,457
2	0,273	0,328	0,446
3	0,268	0,336	0,437
4	0,253	0,330	0,439
5	0,262	0,323	0,428
6	0,253	0,349	0,437
7	0,268	0,339	0,449
8	0,251	0,342	0,431
9	0,256	0,336	0,446
10	0,250	0,328	0,444
11	0,248	0,346	0,453
12	0,243	0,358	0,458
Vidurkis:	0,259	0,337	0,444

3 priedas. 32,5 g butelių sienelių matavimo rezultatai

32,5 g butelis Nr. 1			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,367	0,357	0,478
2	0,320	0,356	0,493
3	0,333	0,393	0,523
4	0,344	0,420	0,498
5	0,326	0,357	0,523
6	0,357	0,438	0,540
7	0,341	0,371	0,548
8	0,374	0,383	0,557
9	0,361	0,362	0,550
10	0,316	0,387	0,561
11	0,338	0,382	0,546
12	0,341	0,368	0,551
Vidurkis:	0,343	0,381	0,531

32,5 g butelis Nr. 2			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,353	0,389	0,498
2	0,368	0,376	0,503
3	0,323	0,392	0,516
4	0,361	0,399	0,523
5	0,324	0,405	0,521
6	0,359	0,387	0,498
7	0,347	0,410	0,489
8	0,385	0,412	0,512
9	0,362	0,394	0,516
10	0,349	0,387	0,550
11	0,320	0,406	0,549
12	0,318	0,400	0,555
Vidurkis:	0,347	0,396	0,519

32,5 g butelis Nr. 3			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,356	0,403	0,486
2	0,319	0,410	0,492
3	0,326	0,413	0,498
4	0,338	0,389	0,512
5	0,342	0,395	0,518
6	0,329	0,392	0,527
7	0,319	0,405	0,519
8	0,325	0,412	0,529
9	0,316	0,420	0,539
10	0,348	0,427	0,492
11	0,346	0,432	0,488
12	0,342	0,429	0,493
Vidurkis:	0,334	0,411	0,508

32,5 g butelis Nr. 4			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,352	0,369	0,531
2	0,349	0,397	0,527
3	0,332	0,389	0,518
4	0,325	0,413	0,532
5	0,338	0,423	0,502
6	0,342	0,421	0,498
7	0,338	0,418	0,526
8	0,324	0,399	0,503
9	0,329	0,387	0,478
10	0,339	0,427	0,498
11	0,340	0,423	0,531
12	0,336	0,419	0,543
Vidurkis:	0,337	0,407	0,516

32,5 g butelis Nr. 5			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,376	0,396	0,503
2	0,358	0,406	0,512
3	0,377	0,438	0,539
4	0,398	0,442	0,526
5	0,372	0,419	0,570
6	0,350	0,432	0,562
7	0,348	0,416	0,506
8	0,342	0,399	0,531
9	0,352	0,410	0,512
10	0,343	0,426	0,523
11	0,336	0,403	0,531
12	0,343	0,426	0,529
Vidurkis:	0,358	0,418	0,529

4 priedas. 35,7 g butelių sienelių matavimo rezultatai

35,7 g butelis Nr. 1			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,380	0,460	0,591
2	0,433	0,470	0,601
3	0,431	0,474	0,599
4	0,413	0,422	0,610
5	0,429	0,430	0,603
6	0,408	0,434	0,588
7	0,421	0,435	0,594
8	0,408	0,461	0,563
9	0,429	0,441	0,589
10	0,411	0,454	0,584
11	0,437	0,434	0,583
12	0,403	0,470	0,592
Vidurkis:	0,417	0,449	0,591

35,7 g butelis Nr. 2			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,425	0,498	0,610
2	0,432	0,487	0,603
3	0,420	0,502	0,593
4	0,432	0,486	0,587
5	0,437	0,476	0,593
6	0,449	0,485	0,594
7	0,452	0,492	0,621
8	0,437	0,462	0,616
9	0,446	0,457	0,599
10	0,459	0,463	0,610
11	0,437	0,476	0,587
12	0,443	0,469	0,592
Vidurkis:	0,439	0,479	0,600

35,7 g butelis Nr. 3			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,411	0,483	0,587
2	0,423	0,476	0,610
3	0,413	0,468	0,623
4	0,398	0,455	0,637
5	0,409	0,467	0,621
6	0,415	0,452	0,599
7	0,428	0,440	0,587
8	0,435	0,438	0,597
9	0,441	0,420	0,631
10	0,432	0,476	0,624
11	0,446	0,498	0,639
12	0,438	0,432	0,603
Vidurkis:	0,424	0,459	0,613

35,7 g butelis Nr. 4			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,421	0,483	0,593
2	0,418	0,476	0,616
3	0,432	0,463	0,606
4	0,419	0,452	0,637
5	0,398	0,467	0,628
6	0,387	0,453	0,612
7	0,409	0,467	0,634
8	0,437	0,449	0,616
9	0,428	0,458	0,603
10	0,432	0,453	0,589
11	0,429	0,449	0,612
12	0,446	0,461	0,598
Vidurkis:	0,421	0,461	0,612

35,7 g butelis Nr. 5			
Nr.	Viršus, mm	Vidurys, mm	Apačia, mm
1	0,382	0,439	0,589
2	0,398	0,443	0,598
3	0,406	0,458	0,618
4	0,423	0,452	0,628
5	0,399	0,438	0,616
6	0,403	0,449	0,637
7	0,429	0,443	0,656
8	0,436	0,438	0,667
9	0,428	0,467	0,642
10	0,439	0,459	0,621
11	0,423	0,443	0,603
12	0,443	0,452	0,612
Vidurkis:	0,417	0,448	0,624