

## TECHNINIŲ SKYSČIŲ ĮTAKA 3D TECHNOLOGIJOMIS SPAUSDINTŲ ELASTOMERŲ SAVYBĖMS

**Ernestas JAKAS**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [ernestas.jakas@vdu.lt](mailto:ernestas.jakas@vdu.lt)

**Audrius ŽUNDA**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [audrius.zunda@vdu.lt](mailto:audrius.zunda@vdu.lt)

### Santrauka

Viena iš šiuolaikinių technologijų, 3D spausdinimas, dažnai gali būti sėkmingas sprendimas kurti naujus gaminius, atkurti sulūžusias detales, sumodeliuoti iš naujo, patobulinti, keisti dizainą. Šiuo metu labai populiarius polimerinių medžiagų 3D spausdinimas. Tačiau bėgant laikui, priklausomai nuo eksploatacijos sąlygų, polimeriniai gaminiai sensta, blogėja gaminio savybės. Kad ši technologija pasiteisintų, reikia įvertinti, ar spausdintos detalės bus patikimos ir ilgaamžės. Dažniausiai gamintojas pateikia 3D spausdinimui skirtų žaliavinių medžiagų atsparumo chemiškai agresyviai aplinkai savybes. Atspausdinto gaminio savybės gali būti kitokios. Šiame tiriamajame darbe pateikti FDM ir SLA 3D technologijomis spausdintų detalių iš elastomerų sugerties aušinimo skysčiui ir variklinei alyvai bei šių skysčių įtaka gaminio savybėms tyrimo rezultatai. Detalės buvo mirkytos 36 paras. Tyrimas parodė, kad visi tirti gaminiai sugeria techninius skysčius. Tačiau FDM ir SLA technologijomis atspausdintų medžiagų savybės pakinta skirtingai. FDM elastomerai aušinimo skystį absorbuoja mažai (0,08–0,09 g per 36 paras), alyvą – daugiau – 0,14–0,21 g. SLA tipo dervos gaminiai labiau sugeria aušinimo skystį (0,1 g per 36 paras) ir naudotą alyvą (nuo 0,03 g iki 0,22 g). SLA spausdintus elastomeras aušinimo skystis ir alyva veikia kaip minkštiklis.

**Reikšminiai žodžiai:** 3D technologija, elastomerai, atsparumas techniniams skysčiams.

### Įvadas

Viena iš šiuolaikinių technologijų, 3D spausdinimas, taip vadinama adaptyvi (pridėtinė) gamyba dažnai gali būti sėkmingas sprendimas kurti naujus gaminius, atkurti sulūžusias detales. Medžiagos atsparumas tam tikroms cheminėms medžiagoms yra labai svarbus – automobilių pramonėje galutiniai produktai dažnai kontaktuoja su agresyviomis medžiagomis. Gamybos linijų konstrukcinius elementus dažniausiai veikia tepalai (tepamosios medžiagos) ir valymo produktai. Automobilių detales, be tepalų, veikia ir kiti techniniai skysčiai. Šiuo metu egzistuoja platus spektras polimerų, kurie atsparūs rūgščių, tirpiklių, alkoholių, karšto vandens ar kitų medžiagų poveikiui. Cheminis plastikų atsparumas priklauso nuo jų fizinės ir cheminės struktūros bei medžiagos cheminės sudėties (Heikkinen et. al., 2018; Safka et. al., 2016). Polimeras, turintis struktūrą, artimą kristalinei, yra atsparesnis agresyviai aplinkai nei polimeras, kurio struktūra amorfinė. Polimerinių jungčių orientacija ir užpildų buvimas medžiagoje taip pat gali turėti įtakos (Sikder et. al., 2022).

Šiuo metu labai populiarius polimerinių medžiagų 3D spausdinimas. Tačiau bėgant laikui, priklausomai nuo eksploatacijos sąlygų, polimeriniai gaminiai sensta, blogėja gaminio savybės. Norint, kad ši technologija pasiteisintų, reikia žinoti, ar spausdintos detalės bus patikimos ir ilgaamžės. Dažniausiai gamintojas pateikia 3D spausdinimui skirtų žaliavinių medžiagų atsparumo chemiškai agresyviai aplinkai savybes. Tačiau spausdinto gaminio savybės gali būti kitokios. 3D technologija vis dažniau naudojama įvairiose pramonės srityse. Šiame tiriamajame darbe pateikti FDM ir SLA elastomerų 3D technologijomis spausdintų detalių absorbcija aušinimo skysčiui ir naudotai variklinei alyvai tyrimo rezultatai. Detalės buvo mirkytos 36 paras. Po mirkymo sveriant buvo vertinamas pavyzdžių įmirkimas, bandomas jų atsparumas tempimo deformacijai. Tyrimas parodė, kad visi tirti gaminiai sugeria techninius skysčius – didėja masė. Po mirkymo FDM gumos buvo atsparios tempimui – gaminiai neilgėjo. SLA bandiniai ištiso, liekamoji deformacija buvo iki 3 mm.

**Tyrimo tikslas** – ištirti gaminių, spausdintų FDM ir SLA 3D technologijomis atsparumą aušinimo skysčiui ir naudotai variklinei alyvai.

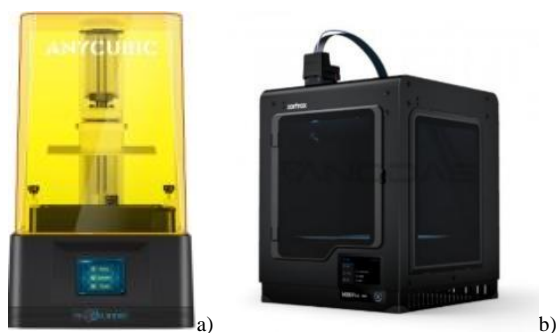
Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti skirtingomis 3D technologijomis spausdintų gaminių absorbcijos tyrimus mirkant pavyzdžius aušinimo skystyje bei naudotoje variklinėje alyvoje.
2. Įvertinti pavyzdžių masės bei deformacijos pokyčius.

### Tyrimų objektas ir metodai

3D spausdinimui buvo naudojami 2 tipų spausdintuvai: SLA ir FDM tipo spausdintuvai. SLA spausdintuvas „ANYCUBIC MONO“. Šio 3D spausdintuvo specifikacijos: spausdinamo sluoksnio storis: 0,01–0,15 mm, horizontalioji skiriamoji geba 35 μm; spausdinimo greitis: ≤ 50 mm/val (Safka et. al., 2016). Kitas 3D spausdinimui naudojamas spausdintuvas buvo FDM technologijos „Zotrax M 200“. Šio 3D spausdintuvo specifikacijos: spausdinimo sluoksnio

storis 0,09–0,390 mm, sluoksnio skiriamoji geba nuo 90 iki 390  $\mu\text{m}$ , matmenų tikslumas  $\pm 0,2\%$ , maksimali spausdinimo temperatūra 290  $^{\circ}\text{C}$ .

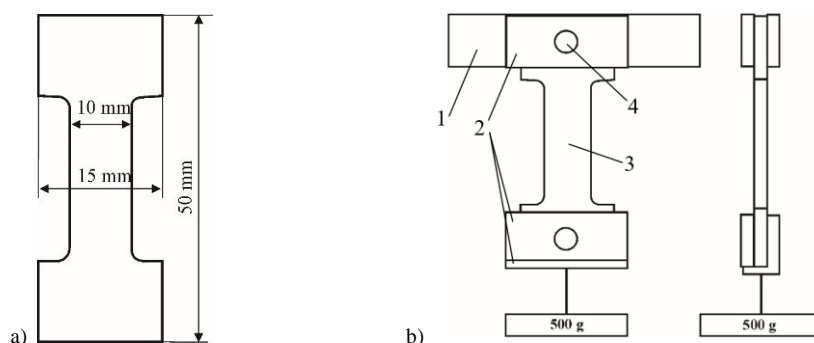


**1 pav.** a) 3D spausdintuvų vaizdai Anycubic Mono SLA 3D spausdintuvas [2], b) Zortax M 200 [3].  
*Fig. 1. a) ANYCUBIC MONO SLA 3D printer [2], b) Zortax M 200 [3]*

Tyrimams pasirinktos 2 elastomerų rūšys: SLA – PrimaCreator Value Flex Resin (PCVFR) ir Copymaster 3D Flexible UV (CFUV), bei FDM – FiberFlex 40D (FF40D) bei FiberFlex 30D (FF30D) tipo. Atsparumo absorcijai tyrimui pasirinktos dvi medžiagos: naudota sintetinė variklinė alyva ir aušinimo skystis G12.

Spausdintos detalės buvo panardintos techniniuose skysčiuose. Mirkymo laikotarpiai: 2 paros, 7 paros, 16 parų ir 36 paros. Tyrimas atliktas pastovioje  $60\pm 3^{\circ}\text{C}$  temperatūroje (laboratorinėje krosnelėje SNOL-3.5).

Spausdintų bandinių matmenys –  $50 \times 15 \times 2$  mm, jų eskizas pavaizduotas 2 paveiksle. Tempimo bandymui pavyzdžių vienu galu buvo tvirtinamas specialiomis plokštelėmis prie svirties, prie kito galo buvo tvirtinamas svarmuo.



**2 pav.** a) Spausdintų plokštelių brėžinys, b) plokštelės deformacijos bandymo schema.  
*Fig. 2. Drawing of printed plate b) schematic of plate deformation test*

Mirkytų bandinių įgertis buvo vertinama sveriant analitinėmis svarstyklėmis – ABJ 220-4 NM. Šių svarstyklių parametrai: tikslumas  $\pm 0,0003$  g, didžiausia sveriamą masę 220 g (Heikkinen et. al., 2018). Pasvėrus bandinius (kiekvieno elastomero po 3 detales kiekviename mirkiamame techniniame skystyje) vertinamas jų masės pokytis ir apskaičiuojamas vidurkis. Ir taip po kiekvienos mirkymo dienos. Ištraukti iš skysčių bandiniai buvo nuvalomi, nusausinami, sveriami svarstyklėmis ir apskaičiuojamas vidurkis.



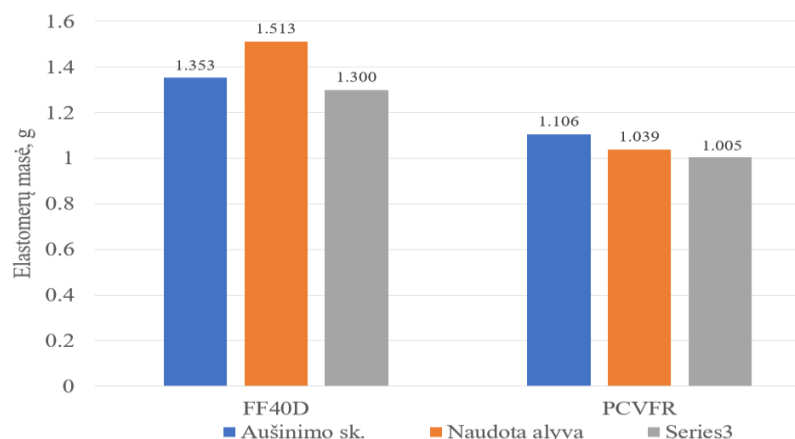
**3 pav.** Analitinės svarstyklės ABJ 220-4NM (Heikkinen et. al., 2018).  
**3 Fig.** Analytical balances ABJ 220-4NM (Heikkinen et. al., 2018)

Skirtingą laiką mirkytų bandinių atsparumas deformacijai buvo vertinamas pavyzdžius tempiant pastovia 4,9 N jėga (500 g svarmuo) ir matuojant liekamąją deformaciją (pailgėjimą) po 24 val.

## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Šio darbo tikslas buvo ištirti spausdintų gaminių savybes absorbuoti techninius skysčius ir techninių skysčių įtaką elastomerų mechaninėms savybėms. Po 36 mirkymo parų aušinimo skystyje AS) FF40D bandinių masė padidėjo nuo 1,300 iki 1,353 g (4,1 %), o po mirkymo naudotoje alyvoje (NA) – nuo 1,300 iki 1,513 g (16,4 %) (žr. 4 pav.). Bandinių iš PCVFR mirkytų aušinimo skystyje masė padidėjo nuo 1,005 iki 1,106 g (10 %), mirkytų alyvoje – nuo 1,005 iki 1,039 g (3,4 %).

Techninių skysčių absorbavimo dinamika skirtingų elastomerų buvo skirtinga. PCVFR tipo dervų masė po 2 parų mirkymo AS padidėjo 5,7 %, mirkant NA – 2,6 % (žr. 5 pav.). Po 7 parų masės padidėjimas mirkant AS buvo 2,1 %, mirkant NA – tik 0,6 %. Po 16 parų – 1,4 % ir 0,3 % atitinkamai. O po 36 parų PCVFR elastomero masė AS padidėjo 0,5 %, mirkant NA – 0,01%.

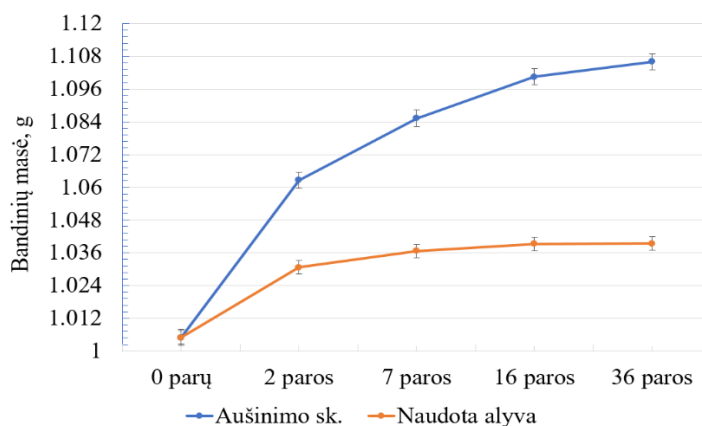


4 pav. Elastomerų bandinių masės pokyčio rezultatai po 36 parų mirkymo

Fig.4. The results of mass change of elastomers after 36 days Soaking

Elastomero FF40D bandinių absorbcijos dinamika kitokia. Po 2 parų bandinių masė padidėjo 3,2 % mirkant AS ir 5,1 %, mirkant NA (žr. 6 pav.). Po 7 parų 1,3 % ir 1,7 % atitinkamai. Mirkant 16 parų AS šio elastomero masė padidėjo 1,6 %, o mirkant NA šis pokytis buvo 1,9 %. Po 36 parų – 0,8 % ir 6,9 % atitinkamai.

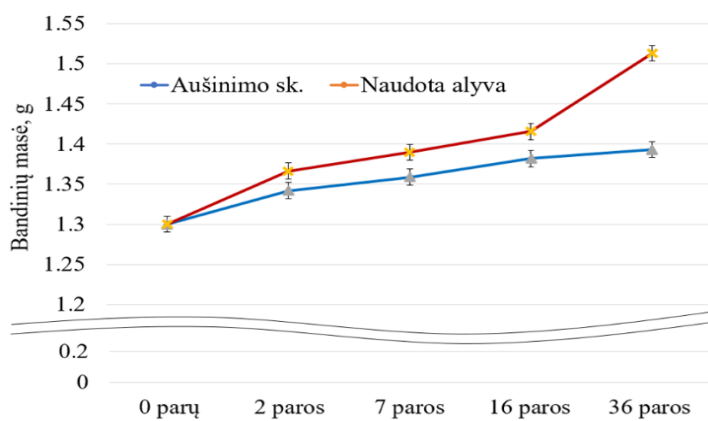
Iš grafiko (žr. 5 pav.) matyti, kad elastomerui PCVFR, kurio struktūra formuojama dervą apšvitinant ultravioletine šviesa, 36 paros yra ribinis laikas, tirtu tūrio bandiniui, po kurio atidirbusio tepalo absorbcija praktiškai nebevyksta. Tačiau aušinimo skysčiui maksimalios absorbcijos laikas bus ilgesnis. Koks yra absorbcijos mechanizmas, šio tyrimo metu nebuvo tirta.



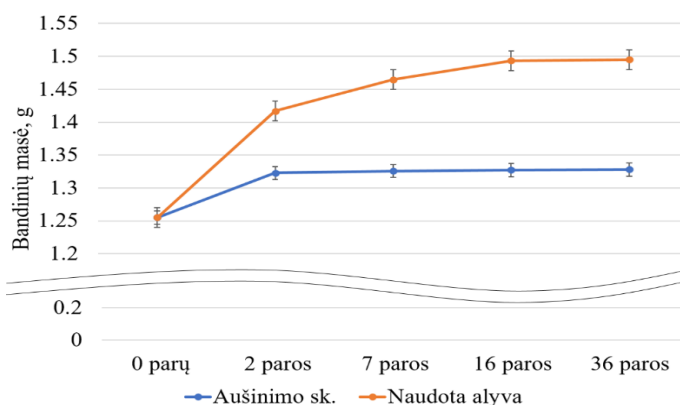
5 pav. PCVFR elastomero bandinio masės pokyčio dinamika mirkant 36 paros

Fig 5. Dynamic of mass change of PCVFR elastomer after soaking for 36 days

Elastomero FF40D absorbcijos dinamika kita (žr. 6 pav.). Kadangi gaminyje formuojamas sulydant plastiko giją, jo struktūra yra akyta. Todėl visų pirma skystis, greičiausiai dėl kapiliarinio efekto, geriasi į tuštumas. Panašu, kad 36 paros mirkymo nėra ribinis prisotinimo laikas, ypač atidirbusios alyvos atveju. To paties tipo elastomero FF30D (30D yra elastomero kietumas) atveju, per 36 paros pavyzdžiai absorbuoja maksimalų galimą abiejų skysčių kieki (žr. 7 pav.).



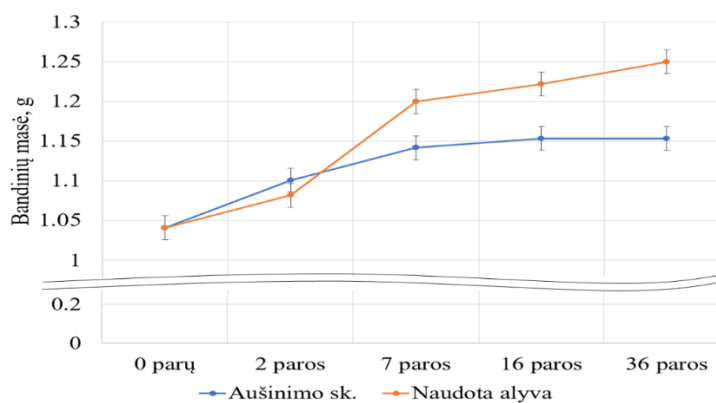
**6 pav.** FF40D elastomero bandinio masės pokyčio dinamika mirkant 36 paras  
**Fig 6.** Dymnamic of mass change of FF40D elastomer after soaking for 36 days



**7 pav.** FF30D elastomero bandinio masės pokyčio dinamika mirkant 36 paras  
**Fig 7.** Dymnamic of mass change of FF30D elastomer after soaking for 36 days

To priežastis gali būti mažesnis akytumas dėl didesnio medžiagos plastiškumo – spausdinimo metu labiau susispaudžia sluoksniai.

Tuo tarpu elastomero CFUV iš ultravioletine šviesa kietinamo elastomero absorbcijos dinamika savo charakteriu panaši į šio tipo elastomero PCVFR, nors absorbcijos dydis ir mažesnis (žr. 8 pav.).



**8 pav.** CFUV elastomero bandinio masės pokyčio dinamika mirkant 36 paras  
**Fig 8.** Dymnamic of mass change of CFUV elastomer after soaking for 36 days

Vertinta techninių skysčių įtaka 3D technologija spausdintų elastomerų mechaniniam atsparumui. Elastomero PrimaCreator Value Flex Resin SLA atsparumo deformacijai tempiant pastovia jėga rezultatai pateikta 1 lentelėje.

**1 lentelė.** PrimaCreator Value Flex Resin SLA elastomero bandinio ilgio pokytis veikiant  
**Table 1.** PrimaCreator Value Flex Resin SLA rubber specimen strain variation

Nemirkyta detalė	Mirkyta detalė	2 paros	7 paros	16 paros	36 paros
0,1 mm	Aušinimo sk.	0,1 mm	0,18 mm	0,31 mm	0,35 mm
0,06 mm	Naudota alyva	0,1 mm	0,17 mm	0,23 mm	0,31 mm

Visais atvejais, išskyrus elastomerą Value UV Resin, elastomerų naudoto variklinės alyvos absorbcija didesnė. Taip pat alyva keičia tiriamųjų medžiagų mechanines savybes. Alyva sukietina bandinius, o aušinimo skystis – minkština.

## Išvados

1. Nustatyta, kad didėjant mirkymo laikui, FDM tipo elastomerų masė aušinimo skystyje didėja nežymiai (0,08–0,09 g per 36 paras), tačiau mirkant alyvoje ji siekia 0,14–0,21 g.

2. SLA tipo dervos gaminių sugertis priklauso nuo elastomero rūšies. CFUV tipo dervos gaminių aušinimo skysčio ir alyvos sugertis buvo didesnė nei PCVFR. Pokytis aušinimo skystyje – 0,1 g, alyvoje – 0,03 g ir 0,22 g atitinkamai. Pastebėta, kad aušinimo skystis ir alyva medžiagą veikia kaip minkštiklis. Liekamasis pailgėjimas po 36 parų mirkymo aušinimo skystyje buvo 0,35 mm, o alyvoje – 0,31 mm.

## Literatūra

1. Heikkinen, T. S., Kauppinen, C., Liu, Z., Asikainen, S. M., Spoljaric, S., Seppälä, J. V., Savin, H., Pearce, J. M. 2018. Chemical compatibility of fused filament fabrication-based 3-D printed components with solutions commonly used in semiconductor wet processing. *Additive Manufacturing*, Vol. 23, p. 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.07.015>.
2. Safka, J., Ackermann, M., Martis, D. 2016. Chemical Resistance of Materials Used in Additive Manufacturing. *Mm Science Journal*, p.1573–1578. [https://doi.org/10.17973/Mmsj.2016\\_12\\_2016185](https://doi.org/10.17973/Mmsj.2016_12_2016185).
3. Sikder, P., Challa, B. T., Gummadi, S. K. 2022. A comprehensive analysis on the processing-structure-property relationships of FDM-based 3-D printed polyetheretherketone (PEEK) structures. *Materialia*, Vol. 22, p. 101427. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101427>.

## THE INFLUENCE OF TECHNICAL LIQUIDS ON THE PROPERTIES OF ELASTOMERS PRINTED USING 3D TECHNOLOGIES

### Summary

One of today's technologies, 3D printing, known as adaptive manufacturing, can often be a successful solution for creating new products, restoring broken parts, re-modelling, refining, redesigning. 3D printing in polymeric materials is currently very popular. However, over time, depending on the operating conditions, polymer products age - change and deteriorate. For this technology to work, you need to know whether the printed parts will be reliable and durable. The manufacturer will usually provide the resistance properties of the raw materials for 3D printing to chemically aggressive environments. The properties of the printed product may be different. This research work presents the results of a study on the absorption of coolant and engine oil by FDM and SLA 3D printed elastomer parts and the effect of these fluids on the product properties. The parts were soaked for 36 days. The study showed that all the tested products absorbed the technical fluids with an increase in their mass. However, the properties of the materials printed with FDM and SLA technologies are different. FDM elastomers absorb coolant a little (0.08 - 0.09 g in 36 days), oil - more 0.14 - 0.21 g. SLA-type resin products absorb more coolant (0.1 g per 36 days) and used oil (0.03 g to 0.22 g). Coolant and oil act as softeners for SLA printed elastomers.

**Keywords:** 3D technology, polymeric machine parts, resistance of 3D prints to technical fluids.