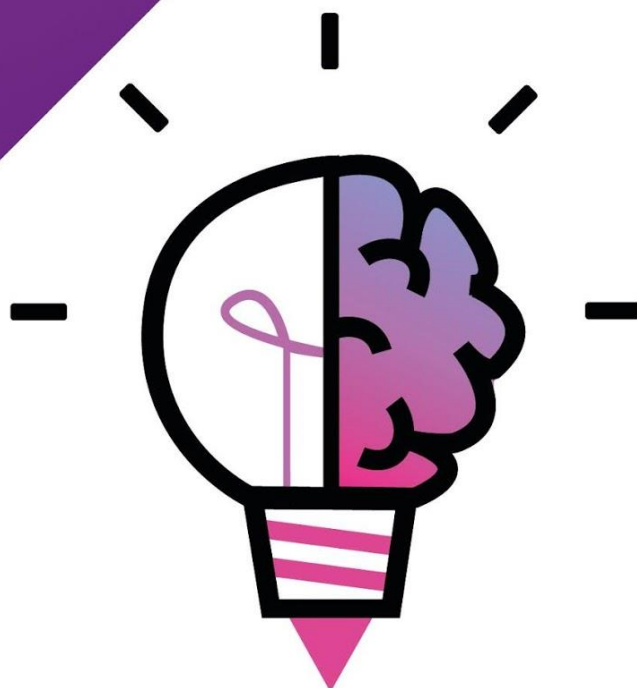




Erasmus+



# 3D4ELDERLY

PROJECT NUMBER: 2020-1-LT01-KA204-077896

IO1A2 - tinkamiausių 3D spausdinimo technologijų, kurios bus naudojamos Alzheimerio ir vyresnio amžiaus žmonių kontekste, identifikavimas.

CONSORTIUM OF PARTNERS:



"Europos Komisijos parama šio leidinio leidybai nėra turinio patvirtinimas, kuris atspindi tik autorių nuomonę, ir Komisija negali būti laikoma atsakinga už bet kokią jame pateiktą informaciją."



## Turinys

<i>Turinys</i>	<b>2</b>
<b>1. Įvadas</b>	<b>3</b>
<b>2. Lydžiosios masės modeliavimas (FDM)</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Procesas ir apžvalga</i>	<b>4</b>
2.2. <i>Mašinos ir medžiagos</i>	<b>5</b>
<b>3. Stereolitografija (SLA)</b>	<b>8</b>
3.1. <i>Procesas ir apžvalga</i>	<b>8</b>
3.2. <i>Mašinos ir medžiagos</i>	<b>10</b>
<b>4. Selektivus lazerinis sulydymas (SLS)</b>	<b>12</b>
4.1. <i>Procesas ir apžvalga</i>	<b>12</b>
4.2. <i>Mašinos ir medžiagos</i>	<b>14</b>
<b>5. Kodėl FDM?</b>	<b>15</b>

## 1. Įvadas

3D4ELDERLY projekto tikslas, be kita ko, yra mokyti slaugytojus ir darbuotojus, dirbančius su Alzheimerio liga ir demencija sergančiais žmonėmis, apie tai, kaip naudoti 3D spausdintuvą ir kokios yra pagrindinės rinkoje esančių technologijų rūšys. Todėl yra labai svarbu nustatyti jiems tinkamiausias ir geriausias technologijas, kurioms reikėtų skirti ypatingą dėmesį.

Yra daug kriterijų, į kuriuos reikia atsižvelgti. Reikia suprasti, kokia tiksli yra 3D spausdinimo technologija, kokios išlaidos yra susijusios su šia technologija, naudojimo sudėtingumas, pritaikymo sritys, pavyzdžiai ir kt. Analizės rezultatas pateiktas šiame pranešime.

Atlikus vidinį tyrimą, buvo pasirinktos trys 3D spausdinimo technologijos:

- **Lydžiosios masės modeliavimas (FDM)**
- **Stereolitografija (SLA)**
- **Selektyvus lazerinis sulydymas (SLS)**



1 pav. Modeliai, gauti iš FDM, SLA ir SLS technologijų. Šaltinis: <https://elmundo3d.com/wp-content/uploads/elementor/thumbs/comparativa-fdm-sla-2--o92mz5e8wvraguk57d2rzf2ju3kjcghqk3824oyna4.jpeg>

Toliau skaitykite išsamius aprašymus, apie patį procesą, rinkoje esančias mašinas ir medžiagas, su jomis susijusias išlaidas.

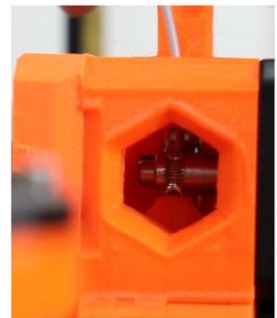
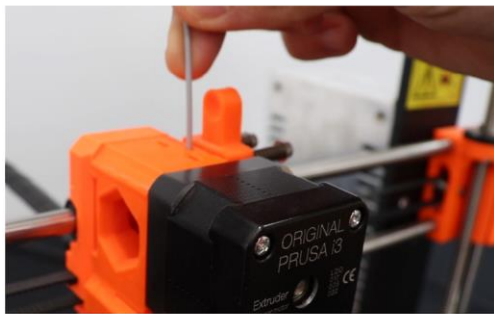
## 2. Lydžiosios masės modeliavimas (FDM)

### 2.1. Procesas ir apžvalga

Lydžiosios masės modeliavimas (FDM), dar vadinamas lydytų gijų gamyba (FFF), yra objektų gamybos procesas, kurio metu modelis statomas selektyviai nusodinant lydytą medžiagą iš anksto nustatytame kelyje sluoksnis po sluoksnio. Naudojamos medžiagos yra termoplastiniai polimerai ir jie yra gaminami kaitinamosios gijos pavidalu.

Tai plačiausiai naudojama 3D spausdinimo technologija. Tai taip pat yra dažnai pirmoji technologija, su kuria susiduria žmonės.

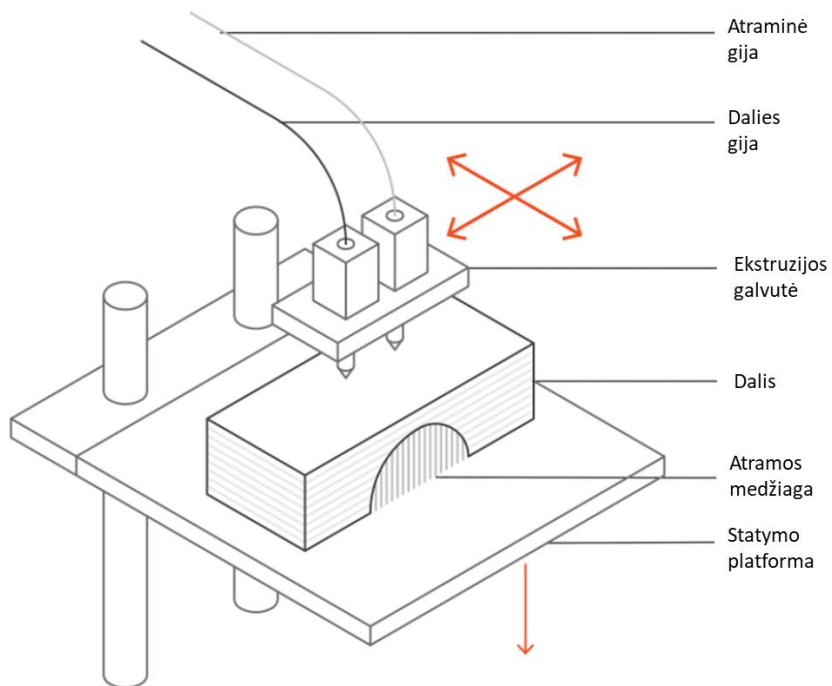
FDM gamybos procesas prasideda pakraunant termoplastinio gijų ritę į spausdintuvą. Todėl antgalio temperatūra turi būti nustatyta iki reikiamos temperatūros medžiagai. Kaitinamoji gija įkeliama į ekstruzijos galvą ir antgalį, kur ji išsilydo.



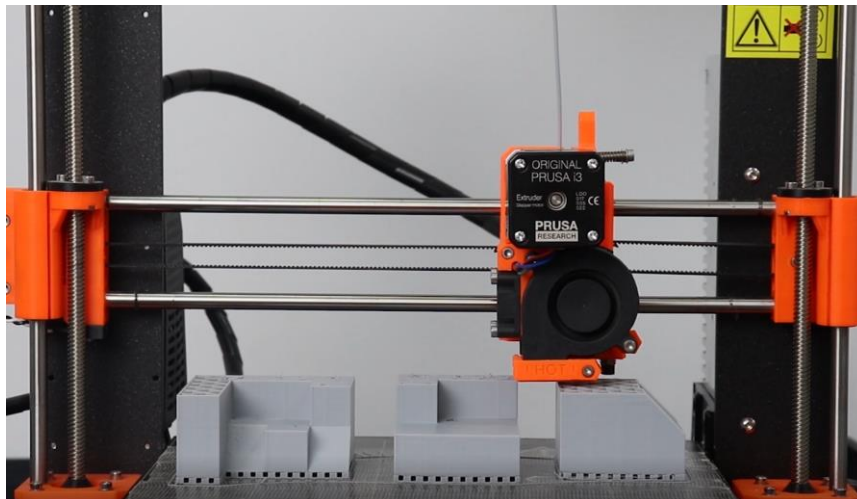
2 pav. Medžiagos ritės įkėlimas į 3D spausdintuvą. Šaltinis: CETEM.

Kiekvienoje FDM mašinoje ekstruzijos galvutė yra pritvirtinta prie 3 ašių sistemos, kuri leidžia jai judėti X, Y ir Z kryptimis. Lydyta medžiaga yra išspaudžiama ir nusėda sluoksnis po sluoksnio tik reikiamose vietose, kur ji atvėsta ir sukietėja.

Taigi, norint užpildyti plotą, reikalingi keli ekstruderio praleidimai. Kai sluoksnis yra baigtas, statymo platforma juda žemyn (arba kitose mašinose ekstruzijos galvutė juda aukšty) ir tada pradedamas spausdinti naujas sluoksnis. Šis procesas kartojamas vėl ir vėl, kol 3D objektas yra užbaigiamas.



3 pav. FDM darbo schema. Šaltinis: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>



4 pav. FDM spausdintuvas veikimo procese. Šaltinis: CETEM.

## 2.2. Mašinos ir medžiagos

Kalbant apie FDM mašinas, reikia atskirti stalinius 3D FDM spausdintuvus nuo pramoninių 3D FDM spausdintuvų. Skirtumai tarp jų yra:

1. **Standartinis tikslumas:**  $\pm 0,15\%$  pramoniniuose spausdintuvuose, palyginti su  $\pm 1\%$  staliniuose FDM spausdintuvuose.
2. **Tipinis sluoksnio storis arba aukštis:** 0,18-0,5 mm pramoniniuose FDM spausdintuvuose ir 0,1-0,25 mm staliniuose spausdintuvuose.
3. **Maksimalus komponavimo versijos vokas:** iki 900x600x900 mm pramoniniuose spausdintuvuose ir iki 200x200x200 mm staliniuose spausdintuvuose.
4. **Medžiagos:** pramoniniai spausdintuvai gali naudoti didesnę medžiagų asortimentą, dėl galimos aukštesnės temperatūros.
5. **Išlaidos:** čia yra svarbių skirtumų. Pramoninių FDM spausdintuvų kaina gali svyruoti nuo 10.000€ iki >50.000€. Staliniai spausdintuvai yra pigesni; galite rasti spausdintuvus nuo 300€ iki 5000€.

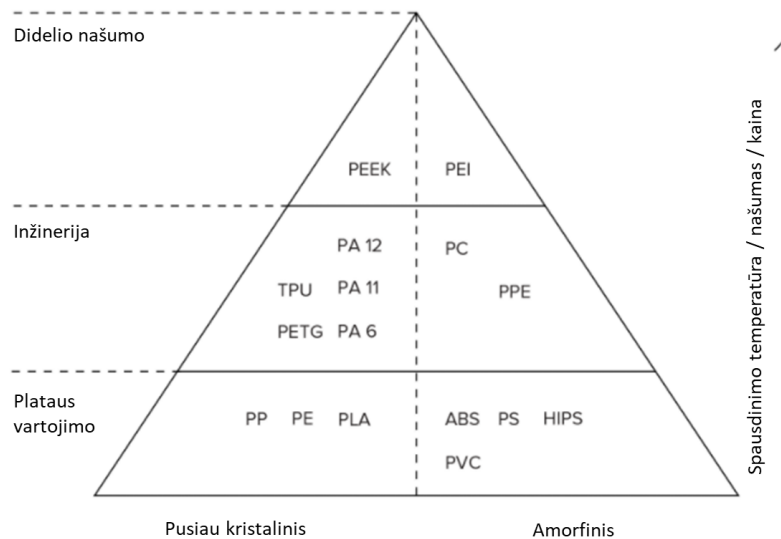


5 pav. Stalinis FDM 3D spausdintuvas (kairėje) ir pramoninis FDM 3D spausdintuvas (dešinėje). Šaltinis: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/industrial-vs-desktop-fdm/photo3.jpg> Šaltinis: <https://www.3dnatives.com/es/stratasys-v650-flex-sla-f120-010320192/>

Kalbant apie tikslumą, dažniausiai pramoniniai FDM 3D spausdintuvai gamina didesnio tikslumo dalis nei staliniai FDM aparatai, nes spausdinimo metu apdorojimo parametrai yra geriau kontroliuojami. Pramoninės mašinos prieš kiekvieną spausdinimą paleidžia kalibravimo algoritmus, apimančius šildomą kamerą, kad būtų sumažintas greitai išlydyto plastiko ataušinimo poveikis. Kita vertus, staliniai FDM 3D spausdintuvai sparčiai tobulėja ir yra mašinų, palaikančių itin pažangias funkcijas (t. y. kalibravimo algoritmus, šildomą kamerą, aukštesnę spausdinimo temperatūrą ir dvigubą ekstruziją). Gerai kalibruota stalinė FDM mašina gali gaminti dalis, kurių matmenų tikslumas yra gana didelis (paprastai leistinas  $\pm 0,5$  mm) ir kurių mažiausias savybių dydis yra toks pat kaip pramoninių FDM mašinų (t. y. apie 1 mm). Šio tikslumo užtenka daugumai 3D programų.

Dabar, sutelkiant dėmesį į FDM 3D spausdintuvų medžiagas, svarbu pastebėti, kad vienas iš pagrindinių FDM privalumų yra platus turimų medžiagų asortimentas. Tai gali svyruoti nuo plataus vartojimo termoplastiko (pvz., PLA ir ABS) iki inžinerinių medžiagų (pvz., PA, TPU ir PETG) ir didelio našumo termoplastiko (pvz., PEEK ir PEI).





6 pav. Termoplastinės medžiagos FDM. Šaltinis: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

Medžiaga, dažniausiai naudojama staliniuose FDM 3D spausdintuvuose, yra PLA. PLA yra lengvai spausdinama ir skirta gaminti modelius su smulkesnėmis detalėmis. Tada, kai reikia didesnio stiprumo, plastiškumo ir šiluminio stabilumo, paprastai naudojama ABS. ABS medžiaga yra labiau linkusi į trapumą (dėl susitraukimo), o spausdintos dalies geometrija gali to neleisti, ypač spausdintuvuose, kuriuose nėra šildomos kameros.

Pramoniniai FDM 3D spausdintuvai daugiausia naudoja inžinerinius plastikus (ABS, polikarbonatą (PC) arba "Ultem"). Šios medžiagos paprastai papildomos tam tikrais priedais, kurie keičia jų savybes ir padaro jas ypač naudingas tam tikram pramoniniam poreikiui (pvz., didelio poveikio stiprumui, šiluminiam stabilumui, cheminiam atsparumui ir biologiniam suderinamumui).



7 pav. FDM skirtingi medžiagos ritiniai. Šaltinis: <https://cdn2.sculpteo.com/wp-content/uploads/2019/06/Filaments2.jpg>



Kalbant apie visų šių medžiagų kainą, jie parduodami gijų ritinių pavidalu (nors kai kurie 3D spausdintuvai gali spausdinti dalis iš plastikinių granulių). Pavyzdžiui, 1 kg PLA yra apie 20€. Taip pat pagrindinis ABS yra netoli 20€ už kg. Kitų inžinerinių plastikų kainos gali būti didesnės: 1 kg PC (polikarbonato) yra apie 60€.

### 3. Stereolitografija (SLA)

#### 3.1. Procesas ir apžvalga

Stereolitografija (SLA) yra objektų gamybos procesas, kurio metu modelis sukuriamas selektyviai kietinant polimero dervos sluoksnį po sluoksnio, naudojant ultravioletinių (UV) spindulių lazerį. Šioje technologijoje naudojamos šviesai jautrūs skysti termosetiniai polimerai. Kitos technologijos, tokios kaip DLP (skaitmeninis šviesos apdorojimas), yra labai panašios, vienintelis skirtumas yra tas, kad DLP naudoja skaitmeninį šviesos ekraną, o ne UV lazerio spindulį. Siekiant paprastumo, abi technologijos gali būti traktuojamos kaip lygios.

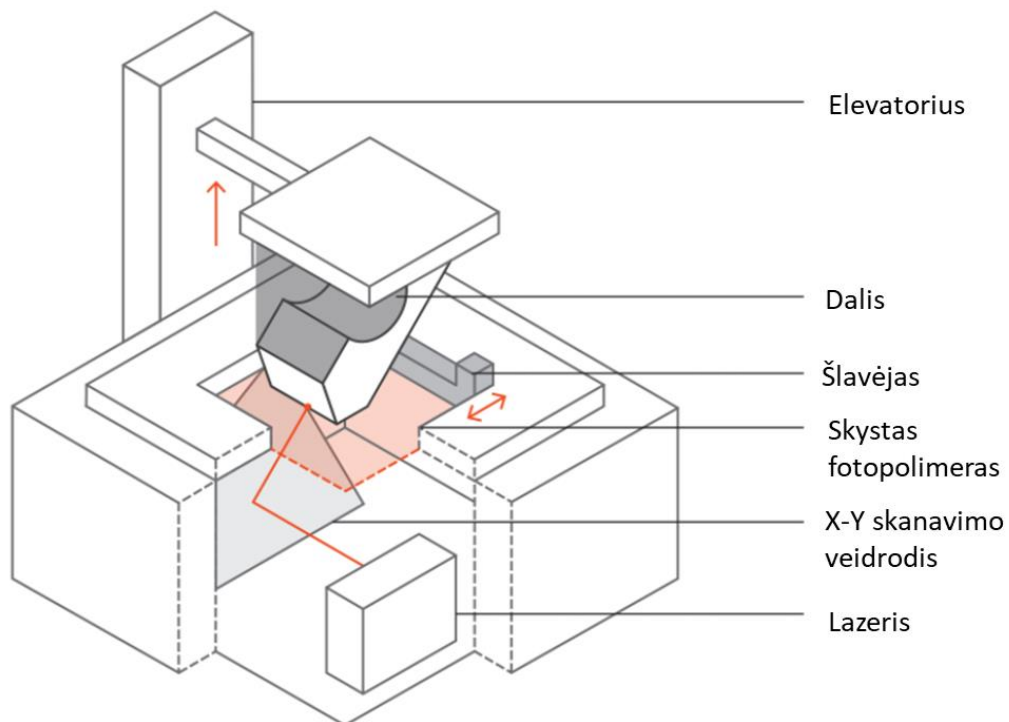
Jei reikalingos labai didelio tikslumo arba lygaus paviršiaus apdailos dalys, SLA yra ekonomiškiausias 3D spausdinimo technologijos pasirinkimas.

SLA technologijos procesas. Visų pirma, konstravimo platforma yra išdėstyta bake, pilname skysto fotopolimero, vieno sluoksnio atstumu nuo skysčio paviršiaus. Tada UV lazeris sukuria sluoksnį, selektyviai tvirtinant ir sukietinant fotopolimero dervą. Lazerio spindulys yra sutelktas į iš anksto nustatytą kelią, naudojant skirtingus būdus, priklausomai nuo mašinos. Vienas iš variantų, kaip tai galima padaryti, tai naudojant veidrodžius.

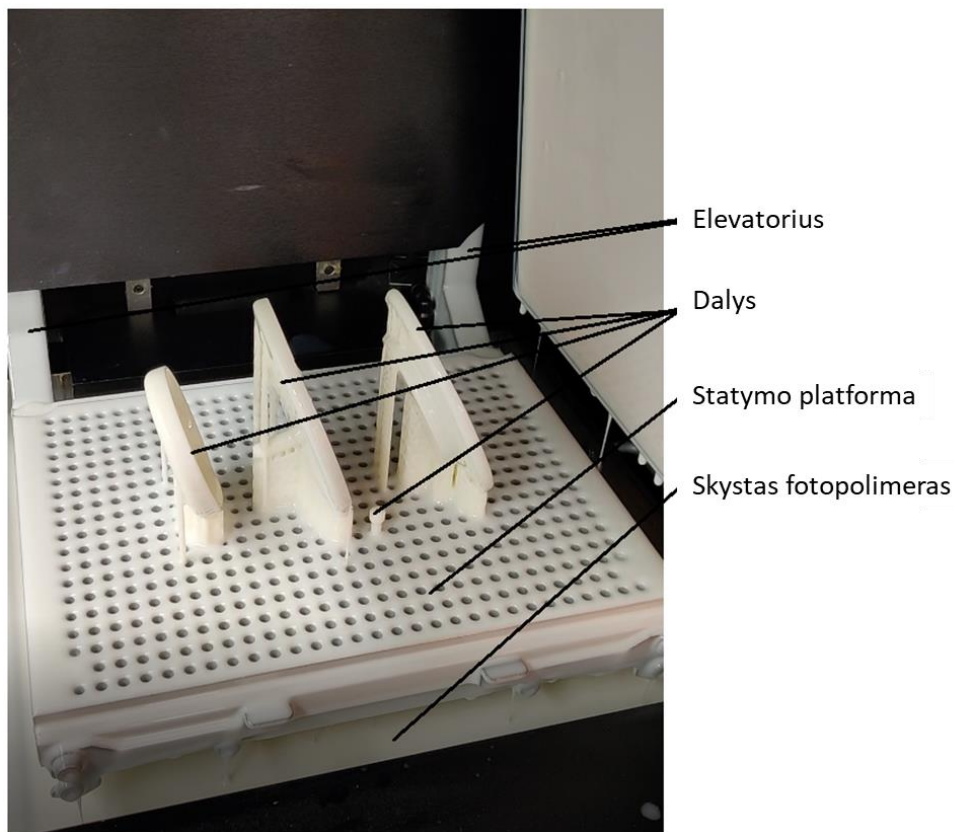
Yra dviejų rūšių SLA mašinos: spausdinančios iš viršaus į apačią ir iš apačios į viršų. „Iš viršaus į apačią“ spausdintuvai yra sukonstruoti aukštyn kojomis. Bakas turi skaidrų dugną su silikonine danga, kuri leidžia lazerio šviesai praeiti, bet sustabdo vytintą dervą nuo prilipimo prie jo. Po kiekvieno sluoksnio vytinta derva yra atskiriama nuo bako apačios, nes spausdinimo platforma juda į viršų. Tai vadinama lupimo žingsniu.

„Iš apačios į viršų“ procesas dažniausiai naudojamas staliniuose spausdintuvuose, o „iš viršaus į apačią“ paprastai naudojamas pramoninėse SLA sistemose. SLA spausdintuvus „iš apačios į viršų“ lengviau gaminti ir eksploatuoti, tačiau jų komponavimo versijos dydis yra ribotas, nes lupimo žingsnio metu taikomos jėgos gali sukelti spausdinimo trikdį. Kita vertus, „iš viršaus į apačią“ spausdintuvai gali sukurti didelių matmenų objektus be didelių tikslumo nuostolių. Pažangios šių sistemų galimybės kainuoja dar daugiau.





8 pav. SLA spausdintuvo iš viršaus į apačią schema. Šaltinis: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>



9 pav. DLP (panaši į SLA) 3D spausdinimo mašina su šviežiomis spausdintomis dalimis. Šaltinis: CETEM.

### 3.2. Mašinos ir medžiagos

Kaip ir FDM technologijos atveju, kalbant apie SLA 3D spausdintuvus, svarbu atskirti SLA stalinius ir pramoninius įrenginius. Pagrindiniai skirtumai tarp jų yra šie:

1. **Kūrimo dydis:** stalinių SLA mašinų kūrimo dydis yra apie 145x145x175 mm, o pramoninių SLA spausdintuvų iki 1500x750x500 mm.
2. **Tipiškas sluoksnio aukštis:** tiek stalinių, tiek pramoninių SLA spausdintuvų sluoksnių aukštis yra nuo 25 iki 100 mikronų (0,025 - 0,1 mm).
3. **Tikslumas:** stalinių SLA mašinų matmenų tikslumas yra apie  $\pm 0,5\%$ , tačiau pramoninių spausdintuvų – apie  $\pm 0,15\%$ .
4. **Išlaidos:** čia yra svarbių skirtumų. Nors stalinis SLA spausdintuvas gali svyruoti nuo 2.000 € iki 6.000 €, pramoninių SLA spausdintuvų kaina gali siekti iki 500.000 €.



10 pav. SLA stalinis spausdintuvas (kairėje) ir SLA pramoninis spausdintuvas (dešinėje). Šaltinis: [https://formlabs-media.formlabs.com/filer\\_public\\_thumbnails/filer\\_public/be/50/be501495-9972-4536-9d27-57c0375b16a7/03062019\\_daguerre\\_1\\_565.jpg\\_1354x0\\_q85\\_subsampling-2.jpg](https://formlabs-media.formlabs.com/filer_public_thumbnails/filer_public/be/50/be501495-9972-4536-9d27-57c0375b16a7/03062019_daguerre_1_565.jpg_1354x0_q85_subsampling-2.jpg) Šaltinis: [https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case\\_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology\\_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i](https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i)

Kalbant apie SLA technologijos medžiagas, vienas iš didžiausių pramoninio SLA spausdintuvo privalumų, palyginti su stalinėmis mašinomis, yra platus medžiagų asortimentas. Nors staliniai spausdintuvai gali pasiūlyti lanksčią dervą, pramoninės mašinos gali naudoti medžiagas su skirtingomis mechaninėmis savybėmis (kranto kietumas, aukšta temperatūra ir t.t.).

SLA medžiagos naudojamos skystu pavidalu. Kainos už litrą dervos labai skiriasi, nuo \$50 už standartinę medžiagą iki daugiau nei \$400 už specializuotas medžiagas. Pramoninės sistemos siūlo platesnį medžiagų asortimentą nei staliniai SLA spausdintuvai, kurie suteikia dizaineriui didesnę spausdintos dalies mechaninių savybių kontrolę.

SLA medžiagos (termosetai) yra trapesnės nei medžiagos, pagamintos naudojant FDM arba SLS (termoplastiką), todėl SLA dalys paprastai nenaudojamos funkciniais prototipais, kurie atliks didelę apkrovą. Tačiau medžiagų pažanga gali kisti artimiausioje ateityje.



11 pav. SLA medžiagos. Šaltinis: <https://manufactur3dmag.com/wp-content/uploads/2018/05/Formlabs-Clear-Resin-300x214.jpg> Šaltinis: <https://5.imimg.com/data5/YL/QO/MY-11147533/dlp-sla-3d-printer-resin-500x500.jpeg>

Dažniausiai pasitaikančios medžiagos yra: standartinė derva (lygaus paviršiaus apdaila, bet santykinai trapi), skaidri derva (skaidri, tačiau jai reikia papildomo apdorojimo), liejimo derva



(naudojama sukurtiems formavimo modeliams), dantų derva (biologiškai suderinama, bet brangesnė), kieta arba patvari derva (atitinka ABS arba PP tipo mechanines savybes) ir kt.

## 4. Selektivus lazerinis sulydymas (SLS)

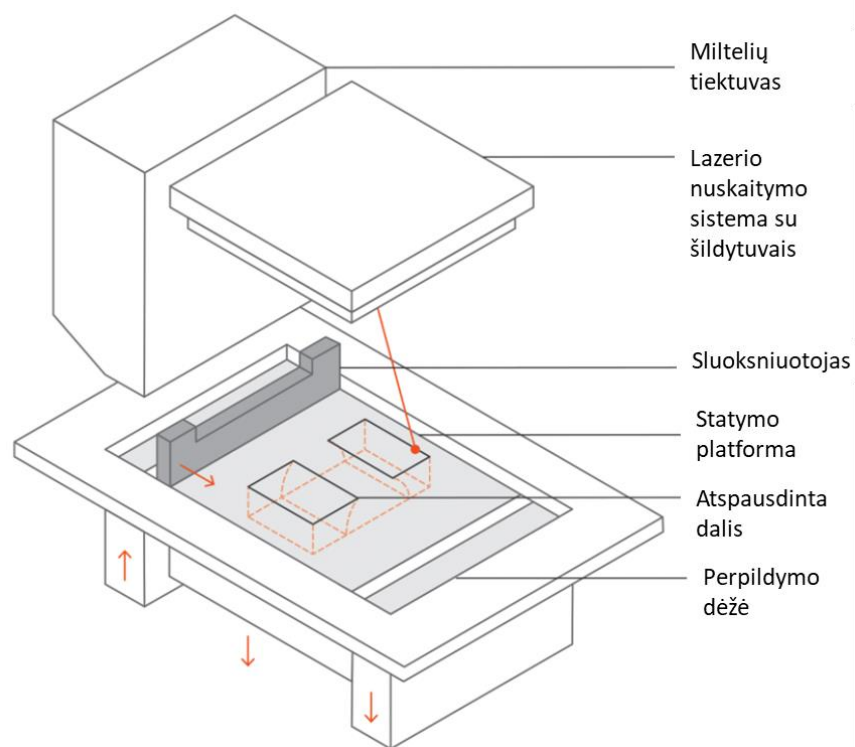
### 4.1. Procesas ir apžvalga

Selektyvus lazerinis sulydymas (SLS) yra objektų gamybos procesas, kurio metu lazeris selektyviai sukepina polimero miltelių daleles, lydydamas jas kartu ir pastatydamas modelį sluoksnis po sluoksnio. Šioje technologijoje naudojamos medžiagos yra granuluoti termoplastiniai polimerai.

Ši technologija naudojama ne tik prototipų kūrimui, bet ir funkciniam polimerų komponentams bei mažiems gamybos gaminiams, nes ji siūlo labai plačią dizaino laisvę, didelį tikslumą ir gamina dalis, turinčias nuoseklias mechanines savybes, skirtingai nei FDM ar SLA.

SLS gamybos procesas. Visų pirma, miltelių dėžė ir konstrukcijos plotas šildomi šiek tiek žemiau polimero lydymosi temperatūros. Tada sluoksniavimo ašmuo paskleidžia ploną miltelių sluoksnį ant konstrukcijos platformos (iki sluoksnio aukščio). Tada CO<sub>2</sub> lazeris selektyviai sukepa (sulydo) miltelių daleles, sukurdamas standų objekto sluoksnį. Kai sluoksnis yra baigtas, konstravimo platforma juda žemyn, o ašmenys ant paviršiaus paskleidžia daugiau miltelių. Šis procesas kartojamas tiek kartų, kol objektas pabaigiamas.

Taigi, proceso pabaigoje dalis ar dalys yra visiškai panardintos į miltelius. Kai miltelių dėžė atvės, objektas gali būti išpakuotas ir išvalytas suspaustu oru. Vienas didelis privalumas yra tai, kad nesukepinti milteliai gali būti pakartotinai panaudojami.



12 pav. SLS 3D spausdintuvo technologijos schema. Šaltinis: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/>



13 pav. Ištraukiami ir valomi gabalai iš SLS 3D spausdintuvo įrenginio. Šaltinis: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/11/05175257/cleaning-the-powder-off-a-batch-of-items-printed-with-mjf-hp-youtube-181105.jpg>





## 4.2. Mašinos ir medžiagos

Dar kartą, kaip FDM ir SLA, dėl SLS mašinų, taip pat galime pakalbėti apie stalinius ir pramoninius SLS 3D spausdintuvus.

SLS spausdintuvuose beveik visus proceso parametrus iš anksto nustato mašinos gamintojas. Numatytasis sluoksnio aukštis yra 100-120 mikronų.

Kalbant apie matmenų tikslumą, dauguma spausdintuvų turi apie  $\pm 0,3\%$  atitikmenį.

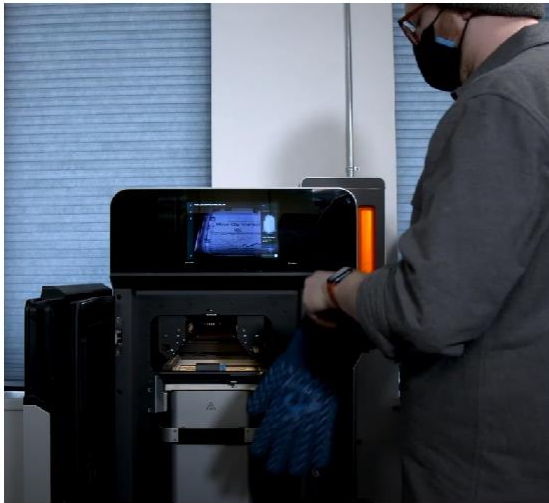
Stalinių SLS mašinų spausdinamų objektų dydis gali siekti iki 180x180x300 mm. O pramoniniai SLS spausdintuvų matmenys gali pasiekti iki 600x600x500 mm. Spausdinant su SLS mašinomis yra labai svarbu naudoti visą statybinę apimtį, ypač mažų partijų produkcijoje. Tam tikro aukščio modelio spausdinimas gali užtrukti apytiksliai tiek pat laiko, nepriklausomai nuo jame esančio detalių skaičiaus. Taip yra todėl, kad perdengimo procesas nulemia bendrą apdorojimo laiką (lazerinis skenavimas vyksta labai greitai) ir mašina turi spėti apsukti tą patį sluoksnių skaičių. Intervalų pakavimas gali turėti įtakos nedidelių užsakymų gamybos laikui, nes operatoriai paprastai laukia, kol visas intervalas bus užpildytas, prieš pradedant spausdinti.

Pagrindinis SLS spausdintuvų privalumas yra tai, kad jai nereikia atramos struktūrų. Nešlifuoti milteliai suteikia dalims visą reikiamą atramą. Dėl šios priežasties SLS gali būti naudojamas laisvos formos geometrinėmis figūromis, kurių neįmanoma gaminti jokių kitu metodu.

Vienas svarbus dalykas, į kurį reikia atsižvelgti, yra tai, kad poringumas suteikia SLS dalims būdingą grūdėtą paviršiaus apdailą. Tai taip pat reiškia, kad SLS dalys gali sugerti vandenį, todėl jas galima lengvai dažyti dažų voniose, bet tai taip pat reikalauja specialaus apdorojimo, ypač jei detalės bus naudojamos drėgnoje aplinkoje.

Kalbant apie mašinų kainą, pigiausios mašinos kainuoja apie 12.000€, o kitos yra taip pat brangios, kaip, pavyzdžiui, SLA spausdintuvai.





14 pav. Stalinė (kairėje) ir pramoninė (dešinė) SLS 3D spausdinimo mašina. Šaltinis: <https://www.youtube.com/watch?v=oiEL4BGXQss> Šaltinis: <https://i.ytimg.com/vi/Y7Nj5NmTdEo/maxresdefault.jpg>

Plačiausiai naudojama SLS **medžiaga** yra poliamidas 12 (PA 12), taip pat žinoma kaip Nailonas 12. Kilogramo PA 12 miltelių kaina yra maždaug tarp \$50 – \$60. Kiti inžineriniai termoplastikai, tokie kaip PA 11 ir PEEK, taip pat yra galimi įsigyti, tačiau nėra taip plačiai naudojami.

Poliamido milteliai gali būti pripildyti įvairiais papildomais priedais (pvz., anglies pluoštu, stiklo pluoštu arba aliuminiu), kad pagerėtų pagamintos SLS dalies mechaninė ir šiluminė elgsena. Medžiagos, užpildytos priedais, paprastai yra trapesnės ir gali turėti anizotropinį poveikį.

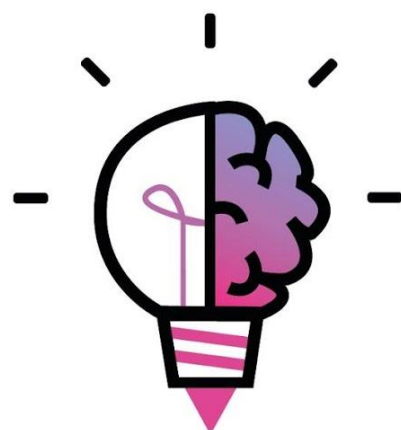
## 5. Kodėl FDM?

Šiame skyriuje kalbėsime apie lydziosios masės modeliavimo (FDM) naudą ir kodėl ši technologija turėtų būti laikoma tinkamiausia 3D4ELDERLY projekto tikslams įgyvendinti. Taigi, pagrindinės FDM technologijos privalumai yra šie:

- ✓ FDM yra ekonomiškiausias būdas gaminti pasirinktines termoplastines dalis ir prototipus.
- ✓ FDM gamybos laikas yra trumpas (toks pat greitas, kaip ir kitos dienos pristatymas), nes technologija yra plačiai prieinama.
- ✓ Tai pigi ir prieinama 3D spausdinimo technologija, kuri puikiai tinka pradedantiesiems. Taip pat ji dažniausiai naudojama greito prototipų kūrimo technologijoje dėl savo lengvos prieigos.
- ✓ Siūlomas platus termoplastinių medžiagų ir spalvų asortimentas, tinkantis tiek prototipų kūrimui, tiek jų funkciniam pritaikymui.
- ✓ FDM spausdintuvai dažnai yra patogūs naudoti.



- ✓ Puikus komponavimo versijos dydis staliniuose FDM 3D spausdintuvuose. Tipiškas FDM stalinės mašinos dydis yra apie 20x20x20cm, o tai yra geras dydis daugumai spausdinamų dalių.
- ✓ Saugu naudoti. Lyginant su SLS arba SLA, FDM yra tikrai saugi technologija, nes ji nesukelia žalos. SLS spausdintuvuose veikia didelė temperatūra, kuri gali tapti pavojinga, o kai kurios SLA medžiagos gali sukelti alergiją Jūsų odai.



**3D4ELDERLY**

CONSORTIUM OF PARTNERS:

