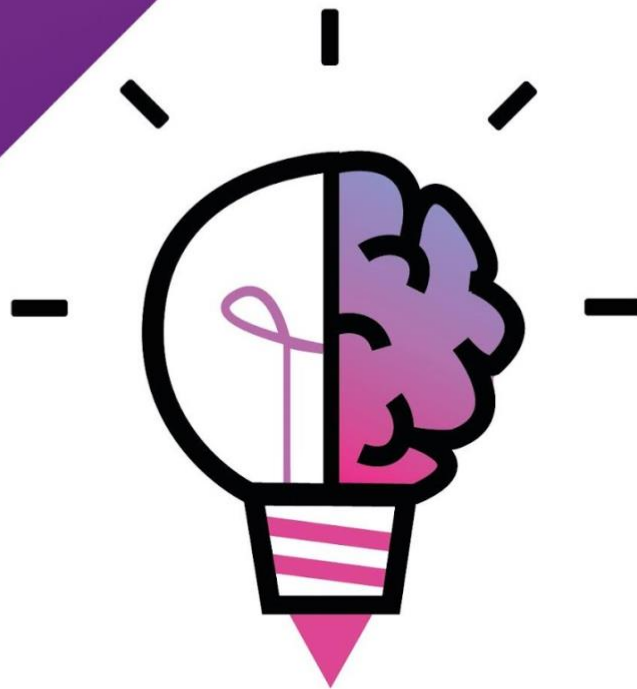




Erasmus+



3D4ELDERLY

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

CONSORTIUM OF PARTNERS:



BETi Baltic
Education
Technology
Institute

CEIPES

Technical Research
Centre of Forestry and
Wood of the Region of
Murcia
CETEM





IO1A2 - Идентифициране на най-подходящите технологии за 3D печат в контекста на Алцхаймер и възрастни хора.



○ **Съдържание**

2

- 1. 4**
- 2. Моделиране на степено отлагане - 5**
 - 2.1. 5**
 - 2.2. 6**
- 3. 9**
 - 3.1. 9**
 - 3.2. 11**
- 4. 12**
 - 4.1. 12**
 - 4.1. 14**
- 5. 15**

1. Въведение

3D4ELDERLY проект цели да обучи болногледачи, работещи с хора с Алцхаймер и деменция за това как да използват 3D принтер, и какви са главните видове технологии достъпни на пазара. За тази цел, да идентифицираме най – подходящите за тях технологии за тях е фундаментално и се изисква специално внимание.

Има много критерии, които трябва да бъдат взети под внимание. Необходимо е да се разбере колко всъщност е точна технологията за 3D печат, какви са разходите, свързани с тази технология, сложността на използването, области на приложение, примери и т.н. Резултатите на анализа са дадени в този документ.

Като резултат на предишно вътрешно проучване са избрани три технологии за 3D печат, които са:

- **Fused Deposition Modelling (FMD)**
- **Стереолитография (SLA)**
- **Избор на лазерно синтероване (SLS)**



Figure 1. Pieces obtained from FDM, SLA and SLS technologies. Source: <https://elmundo3d.com/wp-content/uploads/elementor/thumbs/comparativa-fdm-sla-2--o92mz5e8wvraguk57d2rzf2ju3kjcghqk3824oyna4.jpeg>

По-долу са описани задълбочено, засягащи главно самия процес и машините и материалите, предлагани на пазара, като се посочват и свързаните с тях разходи.

2. Fused Deposition Modelling (FDM)

2.1. Процес и оглед

Fused Deposition Modelling (FDM), още известно като Fused Filament Fabrication (FFF) е производствен процес на добавка, при който обектът се изгражда чрез селективно нанасяне на разтопен материал по предварително определен път слой по слой. Използваните материали са термопластични полимери и са под формата на нишка.

Това е най-широко използваната технология за 3D печат. Също така често е първата технология, на която са изложени хората.

Процесът на производство на FDM започва със зареждането на макара от термопластична нишка в принтера. За това температурата на дюзата трябва да бъде настроена на необходимата температура за материала. Филаментът се подава към екструзионната глава и в дюзата, където се топи.

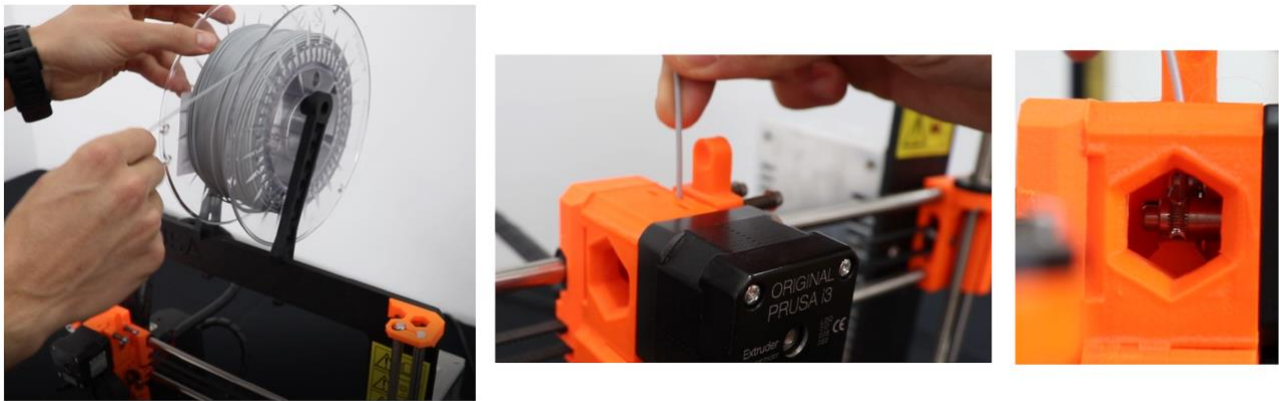


Figure 2. Loading a spool of material into the 3D printer. Source: CETEM.

Във всяка FDM машина екструзионната глава е прикрепена към 3-осна система, която ѝ позволява да се движи в посоки X, Y и Z. Така разтопеният материал се екструдира и отлага слой по слой на необходимите места, където се охлажда и втвърдява.

Така че, за запълване на площ са необходими множество проходи на екструдера. Когато даден слой е завършен, платформата за изграждане се премества надолу (или при други машини, екструзионната глава се движи нагоре) по височината на слоя и след това започва да се нанася нов слой. Този процес се повтаря отново и отново, докато парчето бъде завършено.

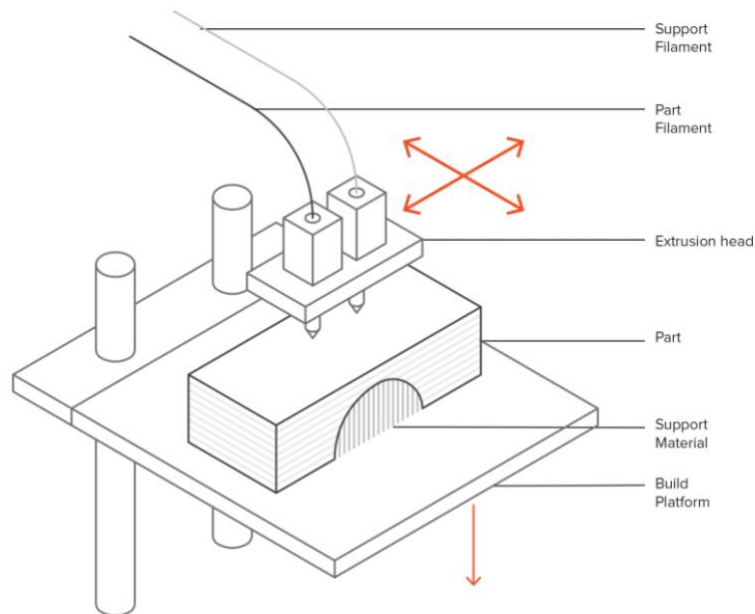


Figure 3. FMD scheme of work. Source: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

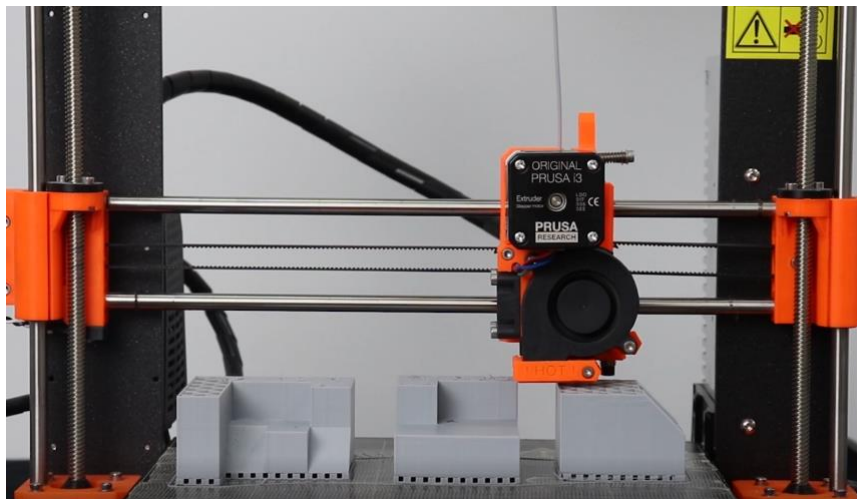


Figure 4. FDM printer working. Source: CETEM.

2.2. Машины и материали

По отношение на FDM машините е необходимо да се прави разлика между настолни 3D FDM принтери и индустриални 3D FMD принтери. Разликите между тях са:

- **Стандартна точност:** $\pm 0,15\%$ при индустриални принтери срещу $\pm 1\%$ при настолни FDM принтери.
- **Типична дебелина на слоя или височина на слоя:** 0,18-0,5 mm в индустриални принтери и 0,1-0,25 mm за настолни принтери.



- **Максимален обем на изработка:** До 900x600x900 mm за индустриални принтери и до 200x200x200 mm за настолни.
- **Материали:** Индустриалните принтери могат да използват по-голям набор от материали, поради обхвата на температурите, които екструдерът и повърхността на леглото могат да достигнат.
- **Разходи:** Тук има важни разлики. Цената на индустриалните FDM принтери може да варира между 10 000 € и > 50 000 €. Настолните машини са по-евтини; можете да намерите принтери от 300 € до 5000 €.



Figure 5. Desktop FDM printer (left) and industrial FDM 3D printer (right). Source: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/industrial-vs-desktop-fdm/photo3.jpg> Source: <https://www.3dnatives.com/es/stratasys-v650-flex-sla-f120-010320192/>

По отношение на точността, обикновено индустриалните FDM 3D принтери произвеждат части с по-висока точност от настолните FDM машини, поради по-строгия контрол на параметрите на обработка по време на печат. Промислените машини изпълняват алгоритми за калибриране преди всеки печат, включват нагрятата камера, за да минимизират ефектите от бързото охлаждане на разтопената пластмаса. От друга страна, настолните FDM 3D принтери вече наваксват и има машини, които поддържат тези разширени функции (т.е. алгоритми за калибриране, нагрятата камера, по-високи температури на печат и двойно екструдирание). Добре калибрираната основна FDM машина за настолни компютри може да произвежда части с доста висока точност на размерите (обикновено с толеранси от $\pm 0,5$ mm) и със същия минимален размер на характеристиките като промислените FDM машини (т.е. приблизително 1 mm). Тази точност е достатъчна за повечето приложения.

Фокусирайки се върху материалите за FDM 3D принтери, е важно да се отбележи, че една от ключовите силни страни на FDM е широката гама от налични материали. Те могат да варират от сурови термопласти (като PLA и ABS) до инженерни материали (като PA, TPU и PETG) и високоефективни термопласти (като PEEK и PEI).

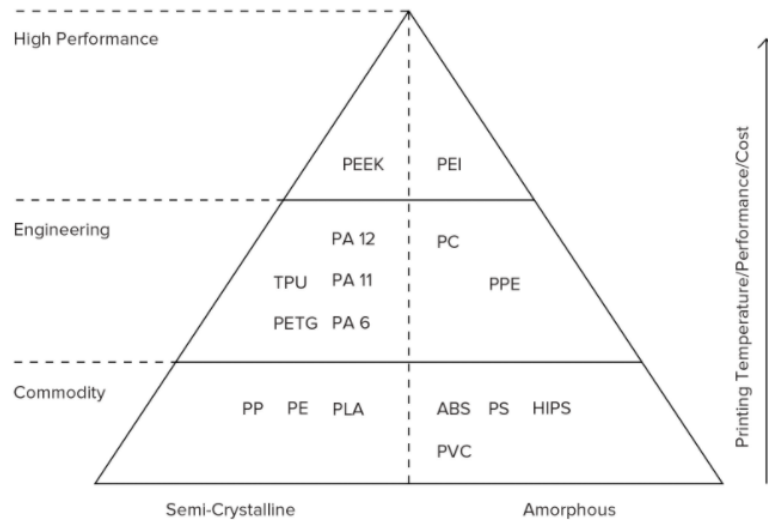


Figure 6. Thermoplastic materials in FDM. Source: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

Най-често използваният материал за настолни FDM 3D принтери е PLA. PLA се отпечатва лесно и може да произвежда части с по-фини детайли. Тогава, когато е необходима по-висока якост, пластичност и термична стабилност, обикновено се използва ABS. ABS е по-податлив на изкривяване (поради свиване) и геометрията на отпечатаната част може да забрани използването му, особено в машини, които нямат нагрята камера.

Индустриалните FDM 3D принтери използват предимно инженерни пластмаси (ABS, поликарбонат (PC) или Ultem). Тези материали обикновено са заредени с определени добавки, които променят техните свойства и ги правят особено полезни за определени индустриални нужди (например висока якост на удар, термична стабилност, химическа устойчивост и биосъвместимост).



Figure 7. FDM different rolls of material. Source: <https://cdn2.sculpteo.com/wp-content/uploads/2019/06/Filaments2.jpg>

По отношение на цената на всички тези материали, те се продават под формата на ролки от нишки (въпреки че някои 3D принтери могат да отпечатват части от пластмасови пелети). Например, 1 кг PLA е около 20 €. Също така основният ABS е



близо 20 € за кг. За други инженерни пластмаси цените могат да бъдат по-високи: 1 кг PC (поликарбонат) е около 60 €.

3. Стереолитография

3.1. Процес и оглед

Стереолитографията (SLA) е производствен процес на добавки, при който обектът се създава чрез селективно втвърдяване на полимерна смола слой по слой с помощта на ултравиолетов (UV) лазерен лъч. Материалите, използвани в тази технология, са фоточувствителни термореактивни полимери, които се предлагат в течна форма.

Други подобни технологии като DLP (Digital Light Processing) са много сходни, единствената разлика е, че DLP използва цифров светлинен екран, вместо UV лазерен лъч, за втвърдяване на смолата. За простота двете технологии могат да се третираат като равни.

Ако се изискват части с много висока точност или гладка повърхностна обработка, SLA е най-ефективната технология за 3D печат на разположение.

Процесът е следният в технологията SLA. На първо място, изграждащата платформа е разположена в резервоара, пълен с течен фотополимер, на разстояние един слой за повърхността на течността. След това UV лазер създава слоя чрез селективно втвърдяване и втвърдяване на фотополимерната смола. Лазерният лъч се фокусира по предварително зададения път, използвайки различни начини в зависимост от машината. Може да се направи например с огледала.

Има 2 вида SLA машини: SLA принтери отгоре надолу и SLA принтери отдолу нагоре. При машините отгоре надолу частта е изградена обърната с главата надолу. Резервоарът има прозрачно дъно със силиконово покритие, което позволява светлината на лазера да премине през него, но спира втвърдената смола да полепне по него. След всеки слой втвърдената смола се отделя от дъното на резервоара, тъй като строителната платформа се движи нагоре. Това се нарича стъпка на пилинг.

Ориентацията отдолу нагоре се използва главно в настолни принтери, докато отгоре надолу обикновено се използва в индустриални SLA системи. SLA принтерите отдолу нагоре са по-лесни за производство и експлоатация, но размерът им на компилация е ограничен, тъй като силите, приложени към детайла по време на стъпката на отлепване, могат да доведат до отказ на печата. От друга страна, принтерите отгоре надолу могат да се мащабират до много големи размери, без голяма загуба на точност. Разширените възможности на тези системи имат по-високи разходи.

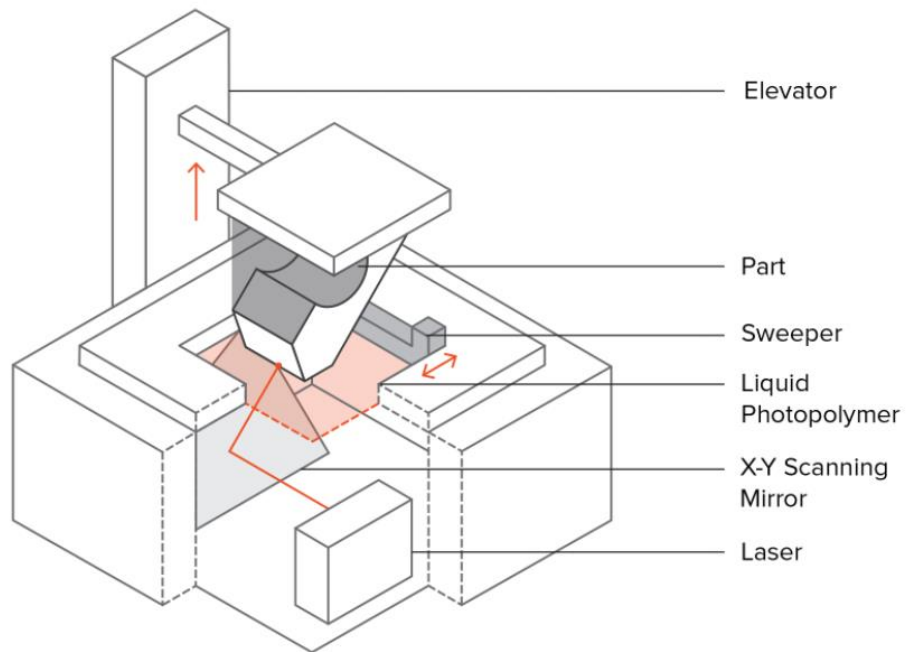


Figure 8. Scheme of a top-down SLA printer. Source: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>

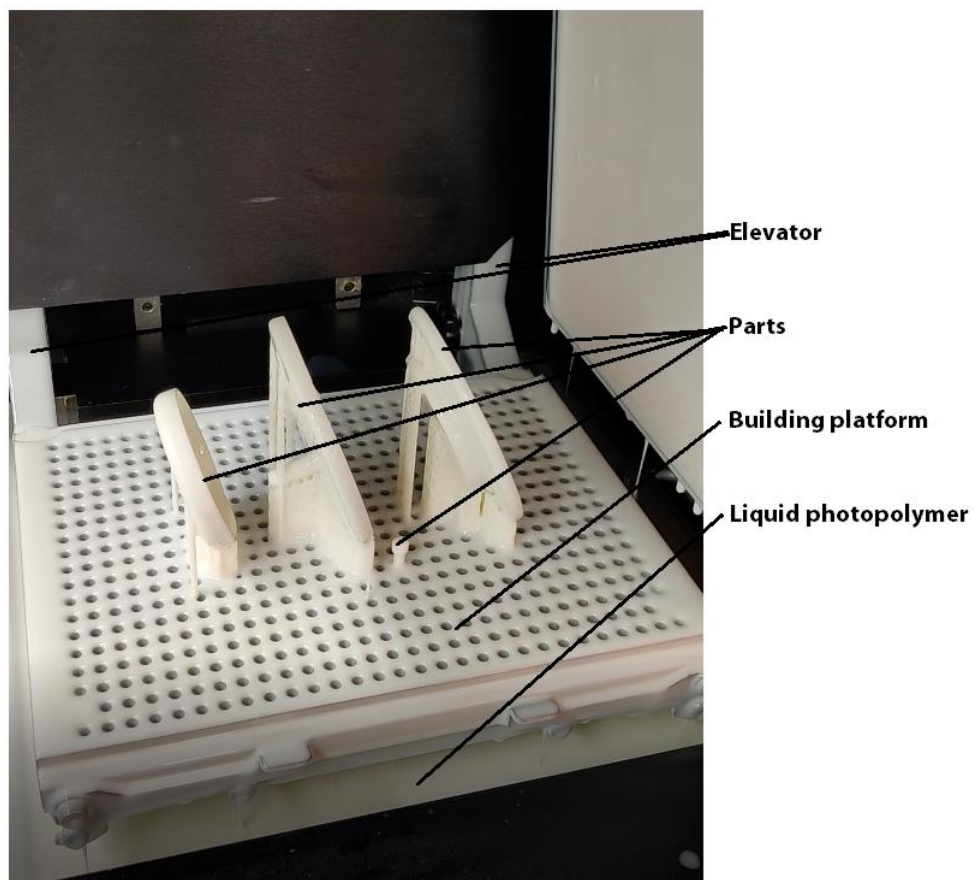


Figure 9. DLP (similar to SLA) 3D printing machine, with fresh printed parts. Source: CETEM.

3.2. Машины и материали

- **Размер на компилация:** Размерите на настолните SLA машини са около 145x145x175 mm, докато размерът на компилация за индустриални SLA принтери е до 1500x750x500 mm.
- **Типична височина на слоя:** И за настолни, и за индустриални SLA принтери: 25 до 100 микрона (0,025 - 0,1 mm).
- **Точност:** Точността на размерите за настолни SLA машини е около $\pm 0,5\%$, но за индустриални принтери е около $\pm 0,15\%$.
- **Разходи:** Тук има важни разлики. Докато настолната SLA машина може да варира между 2.000 € до 6.000 €, индустриалните SLA принтери могат да достигнат до 500.000 €.



Figure 10. SLA desktop printer (left) versus SLA industrial printer (right). Source: 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 Source: https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i

Що се отнася до материалите за технологията SLA, едно от най-големите предимства на индустриалните SLA пред настолните машини е гамата от материали, с които индустриалните принтери могат да печатат. Докато настолните принтери могат да предлагат гъвкава смола, индустриалните машини предлагат широка гама от гъвкави смоли, всяка с различни механични свойства (твърдост по Шор, висока температура и т.н.).

SLA материалите се предлагат под формата на течна смола. Цената на литър смола варира значително, от около \$ 50 за стандартния материал, нагоре до \$ 400 за специалните материали, като леене или дентална смола. Индустриалните системи предлагат по-широка гама от материали от настолните SLA принтери, които дават на дизайнера по-тесен контрол върху механичните свойства на печатната част.



SLA материалите (термореактивите) са по-чупливи от материалите, произведени с FDM или SLS (термопласти) и поради тази причина частите SLA обикновено не се използват за функционални прототипи, които ще поемат значително натоварване. Напредъкът в материалите може да промени това в близко бъдеще.



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

Най-често срещаните материали са: стандартна смола (гладка повърхност, но относително чуплива), бистра смола (прозрачна, но за това се изисква последваща обработка), лееща смола (използвана за създадени модели на плесени), дентална смола (биосъвместима, но с по-висока цена), жилава или трайна смола (подобни на ABS или PP подобни механични свойства) и др.

4. Селективно лазерно синтероване (SLS)

4.1. Процес и оглед

Селективното лазерно синтероване (SLS) е адитивен производствен процес, при който лазер селективно синтерира частиците на полимерен прах, като ги слее и изгражда част слой по слой. Материалите, използвани в тази технология, са в гранулирана форма и са термопластични полимери.

Тази технология се използва за прототипиране, но също така и за функционални полимерни компоненти и малки производствени серии, тъй като предлага много висока дизайнерска свобода, висока точност и произвежда части с добри и постоянни механични свойства, за разлика от FDM или SLA.

Тук е обяснен процесът на производство на SLS: Първо, контейнерът за прах и зоната на натрупване се нагряват точно под температурата на топене на полимера. След това острието за повторно нанасяне разстила тънък слой прах върху платформата за изграждане (точно на височината на слоя). След това CO₂ лазер селективно агломерира (разтопява) частиците на праха, създавайки твърд слой на обекта. Когато слой е завършен, платформата за изграждане се движи надолу и острието покрива повърхността с повече прах. Този процес се повтаря още веднъж, докато парчето е завършено.

И така, в края на процеса частта или частите са напълно потопени в праха. След като кошчето за прах се охлади, парчето може да се разопакова и почисти със сгъстен въздух. Едно голямо предимство е, че неинтерираният прах се събира и може да се използва отново.

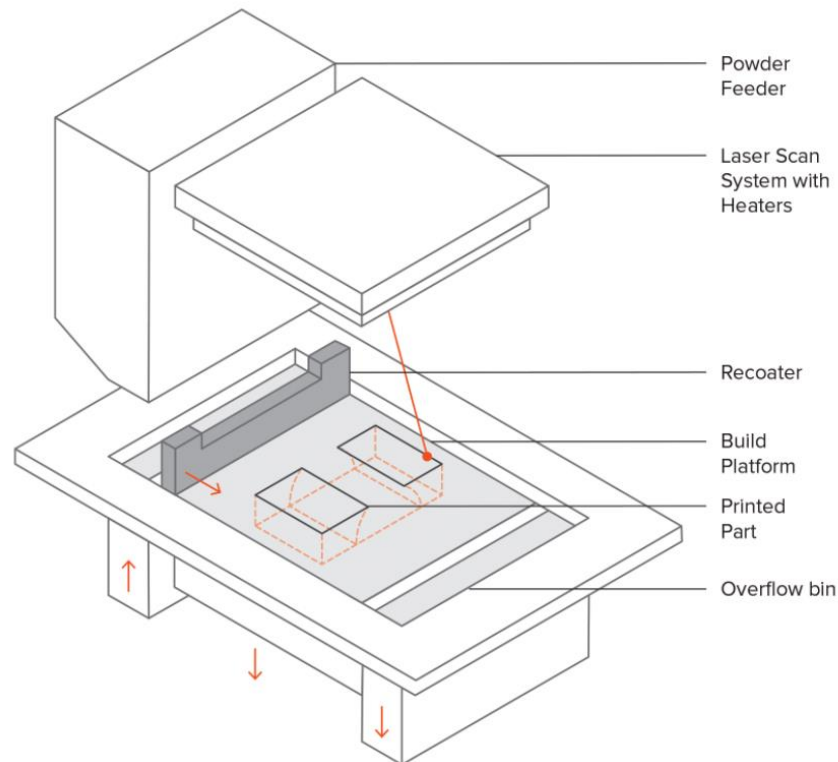


Figure 12. Scheme of SLS 3D printer technology. Source: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/>



Figure 13. Extracting and cleaning pieces from a SLS 3D printer machine. Source: <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>



1.1. **Машини и материали**

Отново, както и в FDM и SLA, по отношение на SLS машините, можем да говорим и за настолни или индустриални SLS 3D принтери.

В SLS почти всички параметри на процеса са предварително зададени от производителя на машината. Височината на слоя по подразбиране е 100-120 микрона.

По отношение на точността на размерите, повечето принтери са около $\pm 0,3\%$.

На настолните SLS машини размерът на сградата е до 180x180x300 мм. Обратно, индустриалните SLS принтери могат да варират до 600x600x500 mm. Възползването от целия обем на изработката е много важно при печат със SLS, особено за малки партидни производства. Кошът с дадена височина ще отнеме приблизително същото време за отпечатване, независимо от броя на частите, които съдържа. Това е така, защото стъпката на повторно нанасяне на покритие определя общото време на обработка (лазерното сканиране се случва много бързо) и машината ще трябва да премине през същия брой слоеве. Опаковането на кошче може да повлияе на времето за изпълнение на малки поръчки, тъй като операторите обикновено изчакват, докато се напълни контейнер, преди да започне печат.

Ключово предимство на SLS е, че не се нуждае от поддържащи структури. Неинтерираният прах осигурява на детайла цялата необходима опора. Поради тази причина SLS може да се използва за създаване на геометрии със свободна форма, които е невъзможно да се произведат с друг метод.

Едно важно нещо, което трябва да се вземе в предвид, е, че поръзността придава на SLS частите характерното им зърнесто покритие. Това също така означава, че SLS частите могат да абсорбират вода, така че те могат лесно да бъдат боядисани в гореща вана в широка гама от цветове, но също така че те изискват специална последваща обработка, ако трябва да се използват във влажна среда.

По отношение на цената на машините, най-евтината от машините е около 12.000 €, а по-скъпата е толкова скъпа, колкото SLA например.

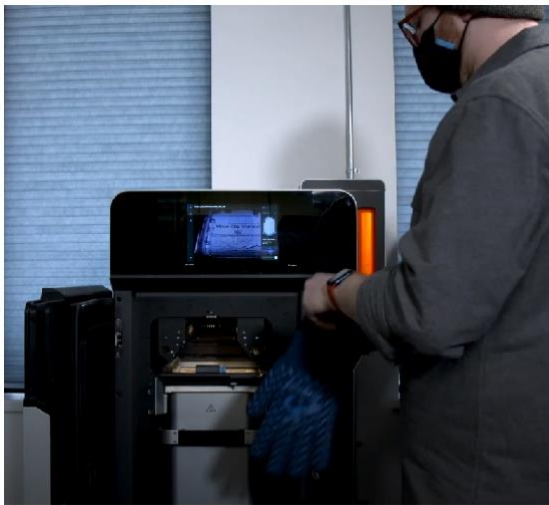


Figure 14. Desktop (left) and industrial (right) SLS 3D printing machine. Source: <https://www.youtube.com/watch?v=oiEL4BGXQss>
Source: <https://i.ytimg.com/vi/Y7Nj5NmTdEo/maxresdefault.jpg>

Най-широко използваният SLS материал е полиамид 12 (PA 12), известен също като найлон 12. Цената на килограм прах PA 12 е приблизително 50 - 60 \$. Други технически термопласти, като PA 11 и PEEK, също са на разположение, но не са толкова широко използвани.

Полиамидният прах може да бъде запълнен с различни добавки (като въглеродни влакна, стъклени влакна или алуминий), за да се подобри механичното и термично поведение на произведената SLS част. Материалите, пълни с добавки, обикновено са по-чупливи и могат да имат силно анизотропно поведение.

2. Защо FDM?

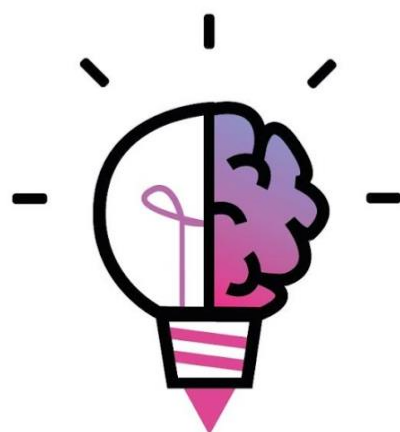
В тази глава ще говорим за предимствата на моделирането на разтопено отлагане (FDM) и защо тази технология трябва да бъде определена като най-подходящата за целите на проекта 3D4ELDERLY.

И така, основните причини, а също и предимствата на FDM технологията са следните:

- ✓ FDM е най-рентабилният начин за производство на термопластични части и прототипи по поръчка.
- ✓ Времето за изпълнение на FDM е кратко (толкова бързо, колкото доставката на следващия ден), поради наличността на технологията.
- ✓ Това е евтина и достъпна технология за 3D печат. Това го прави идеален за начинаещи с 3D печат. Това е и най-често използваната технология за бързо прототипиране поради лесния достъп.
- ✓ Предлага се широка гама от термопластични материали, също в цветове, подходящи както за прототипиране, така и за функционални приложения.



- ✓ FDM принтерите често са лесни за употреба.
- ✓ Страхотен размер на компилация на предимно настолни FDM 3D принтери. Типичният размер на FDM настолна машина е около 20x20x20cm, което е добър размер за повечето части, които ще бъдат отпечатани.
- ✓ Безопасен за използване. В сравнение със SLS или SLA, FDM е безопасна технология, тъй като не причинява вреда. SLS включва висока температура и може да бъде опасно, а някои SLA материали могат да предизвикат алергии в кожата ви.



3D4ELDERLY

CONSORTIUM OF PARTNERS:

