Industriens Uddannelser

Intro til 3D-print

Fagnummer: 21496-3 – Industriteknikeruddannelsen



Udarbejdet af © Kasper Moesgaard,
AM Learning Lab Herningsholm
for Industriens Uddannelser 2024

AM Learning Lab
Herningsholm

© AM Learning Lab 2024.

Indhold

00 - Indledning 5
Målet for faget ”Intro til 3D-print” 5
Historien om 3D-printets oprindelse 5
Hvad er 3D-print? 8
Fremtiden for Dansk Industri: Additive manufacturing 11
Hvad har I lært i dette kapitel? 12
01 - AM-teknologier 13
Vat Photopolymerization 14
Material Extrusion 17
Powder Bed Fusion 20
Material Jetting 24
Binder Jetting 27
Direct energy deposition 30
Sheet lamination 33
Hvad har I lært i dette kapitel? 35
02 - Slicer-software 37
Introduktion til Bambu Studio 37
Fanen Home: 39
Fanen Prepare 40
Fanen Preview 40
Fanen Device 41
Fanen Project 42
Fanen Calibration 42
Opsætning af Printeren og Materialer: 43
Opsætning af Bambu Lab X1 Carbon 43
Opsætning af materialer til Bambu Lab X1 Carbon 45
Materialeparameter ud fra Bambu Studios eget materiale bibliotek 46
Materialeparameter ud fra Technical Data Sheet 47
Layer heigths/Lagtykkelser: 50
Lagtykkelse vs. Nozzle diameter 51
Infill: 51
Infill pattern (mønster): 51
Infill Density (Tæthed) 52

© AM Learning Lab 2024.

Perimeter 53
Support 54
Opgaver: 56
Opgave 2-1: 56
Opgave 2-2: 57
Opgave 2-3: 57
Opgave 2-4: 58
Opgave 2-5: 58
Hvad har I lært i dette kapitel? 59
03 - Design for Additive Manufacturing 59
Introduktion til Design for Additive Manufacturing (DfAM): 59
Grundlæggende DfAM-principper 59
Minimalt Materialeforbrug 59
Produktion af Komplekse Geometrier 60
Topologioptimering 60
Modularitet og Customization 60
Reduktion af Samlinger 60
Design til Letvægtsstrukturer 61
DfAM-principper og guidelines 61
Generelle Designstrategier: 72
Printretning 72
Supportmateriale 73
Efterbearbejdning 75
Integrering af bevægelige dele og flere forskellige materialer 75
Bevægelige dele: 75
Flere forskellige materialer: 76
Fillets og Chamfers (afrundinger og affasninger) 76
Design af Funktionelle Emner: 77
Opgave 3-1: Design af blødekæber til skruestik (Fiksturløsning) 81
Hvad har I lært i dette kapitel? 82
04 - Materialer 82
Ofte anvendte materialer 83
PLA (Polylactic Acid) 84
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 84

© AM Learning Lab 2024.

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) 85
PA6 med Kulfiber (Polyamid 6 med Kulfiber) 85
Materiale sammenligning 86
Plasttyper til FDM-print 87
Højtydende Plast 87
Konstruktionsplast 88
Standardplast 88
Materialernes tekniske og mekaniske egenskaber 89
Hvad indeholder et Technical Data Sheet (TDS)? 89
Anvendelse af TDS 90
Sikkerhedsforanstaltninger og Håndtering: 90
Hvad har I lært i dette kapitel? 92
05 - Drift og vedligehold 93
Daglig og ugentlig vedligeholdelse: 93
Månedlig og Årlig Vedligeholdelse: 94
Dokumentation og logføring af vedligeholdelse: 95
Sikkerhedsprocedurer under Vedligeholdelse: 96
Opgave 5-1 96
Hvad har I lært i dette kapitel? 97
06 - Kvalitetsoptimering 98
Kalibrering og justering af 3D-printeren 98
Bedleveling / justering af dyseaftand 98
Justering af gummibælter i XY-akserne 104
Optimering af filamentets parameter i forhold til den enkelte 3D printer 105
Flow Dynamics Calibration 105
Flow Rate Calibration 109
Temperatur kalibrering 114
Opgave 6-1: 119
Hvad har I lært i dette kapitel? 120
07 - Print af simple konstruktioner 121
Opgave 7-1: 121
Opgave 7-2: 121
Refleksionsopgave 7-3: 123
Hvad har I lært i dette kapitel? 123

© AM Learning Lab 2024.

08 - Optimering af processtider 123
Opgave i slicer-softwaret 124
Opgave 8-1: 124
Opgave 8-2: 125
Opgave 8-3: 125
Opgave 8-4: 125
Opgave 8-5: 125
Opgave 8-6: 125
Opgave 8-7: 126
Hvad har I lært i dette kapitel? 126
09 - 3D-print og den grønne omstilling 127
Additive Manufacturing som det grønne og bæredygtige valg: 128
Hvad er cirkulær økonomi? 129
Case-study: Adidas Futurecraft Loop-skoen 130
Tid til diskussion og refleksion 1: 130
Opgave 9-1: 130
Opgave 9-2: 130
7R modellen 130
Tid til diskussion og refleksion 2: 133
Opgave 9-3: 133
Opgave 9-4: 133
Opgave 9-5: 133
Hvad har I lært i dette kapitel? 133
10 - Anvendt udstyr og software i dette kompendie 134
Software: 134
3D printere: 134
Materialer: 134
11 - Kilder: 134
12 - Copyright og Brugsbetingelser 134
13 - Ekstra: 136
Alle vigtige 3D-print termer: 136
Eksempel på SDS Safety Data Sheet 141
Eksempel på TDS Technical Data Sheet 147

© AM Learning Lab 2024.

00- Indledning

Målet for faget ”Intro til 3D-print”

Faget "Intro til 3D-print" tilbyder elever på industriteknikeruddannelsen en intensiv introduktion til 3D-printningsteknologier og processer over en uges varighed. Formålet med faget er at udstyre eleverne med en dybdegående forståelse af forskellige 3D-printmetoder såsom SLS, DLP, FDM og EBAM. Eleverne vil blive bekendt med egenskaberne ved de mest anvendte materialer i 3D-printning, hvilket styrker deres evne til at vælge og anvende det rigtige materiale til forskellige projekter. En vigtig del af faget fokuserer på anvendelsen af slicer-programmer til korrekt opsætning af printparametre tilpasset både maskinen og det valgte materiale.

Faget vil også dække justering og kalibrering af printere, programmering samt vedligeholdelse, alt sammen for at sikre kvaliteten og funktionaliteten af printprocessen og det færdige produkt. Eleverne vil lære at designe og redigere simple 3D-objekter med fokus på 'Design for Additive Manufacturing', hvilket optimerer parternes printbarhed og funktionalitet. Praktiske øvelser i at fremstille simple konstruktioner med 3D-printere giver eleverne hands-on erfaring og bidrager til en bedre forståelse af teoretisk viden.

Desuden vil faget adressere vigtigheden af at vedligeholde og optimere funktioner og processtider i produktionen for at maksimere effektiviteten og produktiviteten. Et centralt tema i faget er 3D-printningens potentiale i forbindelse med den grønne omstilling, hvor eleverne vil blive oplyst om teknologiens evne til at reducere affald, ressourceforbrug samt transportudgifter og CO2-udledninger. Gennem faget vil eleverne opnå en omfattende forståelse af, hvordan 3D-printning kan bidrage til produktion af bæredygtige materialer og fremme en mere bæredygtig fremstillingsproces.

Ved afslutningen af "Intro til 3D-print" vil eleverne ikke alene have opnået teknisk kunnen og praktisk erfaring, men også en dybere indsigt i de miljømæssige fordele ved additive manufacturings teknikker, hvilket vil styrke deres kompetencer som fremtidige industriteknikere.

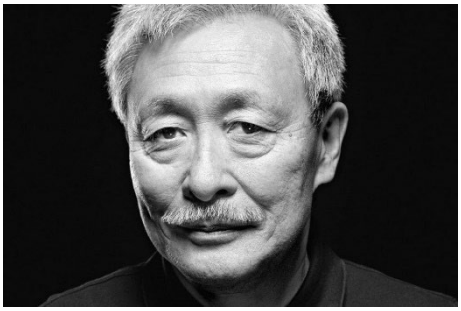
Historien om 3D-printets oprindelse

3D-printningens historie er en fascinerende fortælling om innovation, udforskning og teknologisk fremskridt. Fra de tidlige eksperimenter i 1980'erne til nutidens avancerede applikationer, har 3D-printteknologien oplevet en bemærkelsesværdig udvikling, der har transformeret industrier og ændret den måde, vi tænker på fremstilling og design. Denne fortælling er ikke kun historien om teknologien selv, men også om de visionære individer, hvis bidrag har formet dens kurs.

© AM Learning Lab 2024.

Tidlig Udvikling

Hideo Kodama



Figur 1 - Dr. Hideo Kodama
(Kilde: GM Media Archives)

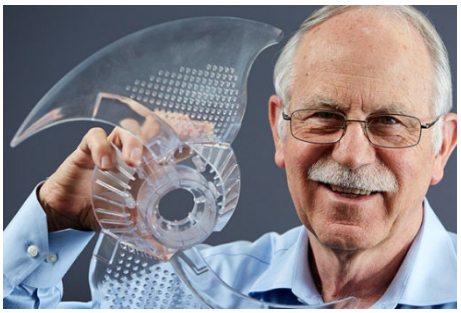
I 1981 i Japan var Hideo Kodama den første til at forsøge at skabe en tredimensional model ved hjælp af lagdeling. Kodama arbejdede ved Nagoya Municipal Industrial Research Institute og udviklede en metode til hærdning af fotopolymerer, lag for lag, ved hjælp af ultraviolet lys. Selvom han aldrig fik et patent, og hans arbejde ofte er overset, satte Kodama scenen for fremtidige udviklinger inden for 3D-printning.

De Franske Ingeniører

Samtidig i Frankrig arbejdede et team af ingeniører uafhængigt på lignende teknologier. Deres bidrag til udviklingen af stereolitografi (SLA) var fundamentale, skønt deres navne og præcise bidrag ofte mangler i mange historiebøger om emnet.

Amerikanske Innovationer

Chuck Hull



Figur 2 - Charles "Chuck" W. Hull
(kilde: www.epo.org)

Chuck Hull, ofte omtalt som "faderen til 3D-printning", spillede en afgørende rolle i udviklingen af 3D- printteknologien. I 1984 opfandt Hull stereolitografi (SLA), en proces, der bruger ultraviolet lys til at hærde lag af en flydende fotopolymer. I 1986 indgav Hull patentansøgningen for SLA, og i 1988 grundlagde han 3D Systems og skabte den første kommercielle 3D-printer, SLA-1. Hans opfindelse af det digitale filformat STL (stereolitography) blev standarden for 3D-printdata og er stadig udbredt i dag.

Carl Deckard og SLS



Figur 3- Carl Deckard
(kilde:www.metal-am.com)

Carl Deckard, en studerende ved University of Texas, udviklede en anden vigtig 3D-printningsteknologi kaldet selektiv laser sintring (SLS) i 1988. Hans metode involverede brugen af en laser til at sintrer eller smelte pulveriserede materialer, lag for lag, for at skabe et tredimensionelt objekt. Deckard's arbejde var banebrydende, da det tillod mere komplekse og holdbare objekter at blive skabt.

© AM Learning Lab 2024.

Scott Crump og FDM



Figur 4 - Scott Crump
(Kilde: TCT Magazine)

Scott Crump, medstifter af Stratasys, patenterede fused deposition modeling (FDM) i 1989. FDM- teknologien, hvor et termoplastisk materiale ekstruderes gennem en dyse for at bygge et objekt lag for lag, er blevet en af de mest populære 3D-printteknologier. Denne tilgang gjorde 3D-printning mere tilgængelig for forbrugere og små virksomheder og banede vej for den udbredte brug af 3D-printere i uddannelsesinstitutioner og hobbyprojekter.

Udviklingen af 3D Metalprint

Udviklingen af 3D-printteknologier for metaller begyndte at tage fart i 1990'erne. Denne æra markerede overgangen fra primært plastbaserede materialer til mere robuste og industrielle applikationer, herunder metaller.

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) / Selective Laser Melting (SLM):

En af de mest revolutionerende udviklinger inden for 3D-metalprint var direct metal laser sintering (DMLS) og Selective Laser Melting (SLM**)**. Disse processer involverer brugen af en laser til at fusionere metalpulverpartikler sammen, lag for lag. Teknologien muliggjorde skabelsen af komplekse metaldele, som var umulige at fremstille med traditionelle metoder. DMLS og SLM blev hurtigt en game-changer for industrier som luftfart og bilindustrien, hvor tilpassede, lette metaldele var afgørende.

Electron Beam Melting (EBM)

En anden vigtig teknologi inden for metalprintning er electron beam melting (EBM). EBM bruger en elektronstråle i stedet for en laser til at smelte metalpulver. Denne teknik er især blevet populær i medicinsk sektor til fremstilling af brugerdefinerede implantater og proteser

Moderne 3D-Printning

Fra 2000'erne og frem har 3D-printning oplevet en eksplosion i innovation og anvendelser. Udviklingen inden for materialevidenskab har udvidet rækkevidden af anvendelige materialer, herunder avancerede plastikker, metallegeringer og keramik.

Bioteknologisk Udvikling

I bioteknologien har 3D-printning åbnet for spændende muligheder såsom bioprintning, hvor celler og biomaterialer anvendes til at skabe væv og potentielt organer. Denne teknologi har potentialet til at revolutionere regenerative medicin og transplantation.

© AM Learning Lab 2024.

3D-Printning i Byggeriet

3D-printning har også fundet vej til byggebranchen. Store 3D-printere, der kan udskrive hele strukturer eller dele af bygninger, lover at revolutionere byggeprocessen, gøre den hurtigere, billigere og mere bæredygtig.



Figur 5 - 3D-printet hus: House 1.0 - 3DCP.dk

Fremtidens Udsigter

I dag fortsætter 3D-printning med at skubbe grænserne for innovation. Den har transformeret alt fra fremstilling, kunst og design til medicin og byggeri. Med fortsatte fremskridt i teknologi og materialevidenskab står vi over for en fremtid, hvor 3D-printning ikke kun er en standardproduktionsteknik, men også en central del af nye, banebrydende anvendelser.



Figur 6 - 3D-printet hus: House 1.0 - 3DCP.dk

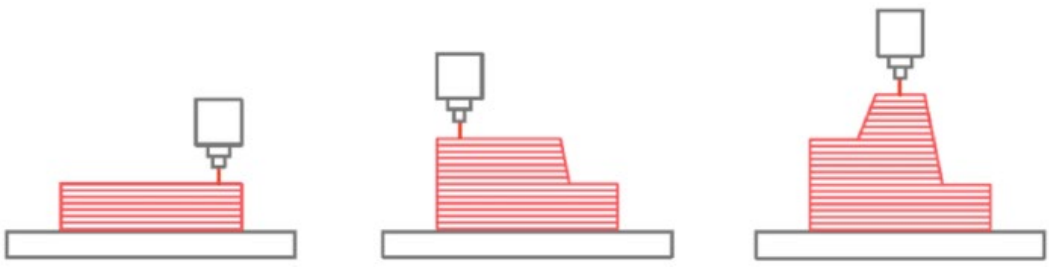
Denne detaljerede historie om 3D-printningens udvikling, illustrerer hvordan en sammensmeltning af visionære ideer, teknologisk innovation og praktisk anvendelse har skabt en teknologi, der ikke kun har transformeret industrier, men også den måde, vi tænker på skabelse og design. Fra Kodamas tidlige eksperimenter til moderne bioprintning og byggeri, har 3D-printningens rejse været et vidnesbyrd om menneskelig opfindsomhed og en konstant stræben efter at forbedre og innovere.

For at udvide kapitlet yderligere, vil vi dykke ned i de mere tekniske aspekter af 3D-print (additiv fremstilling), og foretage en dybere sammenligning med subtractive og formative manufacturing, inklusive en detaljeret gennemgang af deres anvendelser, fordele, ulemper, og fremtidsperspektiver.

Hvad er 3D-print?

Additive Manufacturing

Additiv fremstilling revolutionerer fremstillingsindustrien ved at tilbyde en høj grad af designfleksibilitet og effektivitet. Dette afsnit vil udforske de forskellige typer af 3D-printteknologier, materialer der anvendes, og specifikke anvendelsesområder.



Figur 7 - Additive Manufacturing (Kilde: The 3D Printing Handbook)

© AM Learning Lab 2024.

Eksempler på typer af 3D-Printteknologier

1. Fused Deposition Modeling (FDM): En af de mest almindelige og overkommelige typer af 3D-printere, der anvender termoplastiske filamenter.

2. Stereolithografi (SLA): Anvender UV-lys til at hærde flydende harpiks, hvilket skaber meget detaljerede objekter.

3. Selective Laser Sintering (SLS): Bruger laser til at sintere pulveriserede materialer, typisk nylon eller polyamid, hvilket skaber stærke og holdbare dele.

Materialer i Additiv Fremstilling

- Plastik: Almindeligt brugt i FDM-printere, ideelt til prototyping og ikke-strukturelle dele.

- Metaller: Brugt i mere avancerede processer som Direct Metal Laser Sintering (DMLS), anvendes til luftfarts- og automotive-komponenter.

- Resiner: Anvendes i SLA-printere, egnet til højdetaillerede modeller og prototyper.

Anvendelsesområder

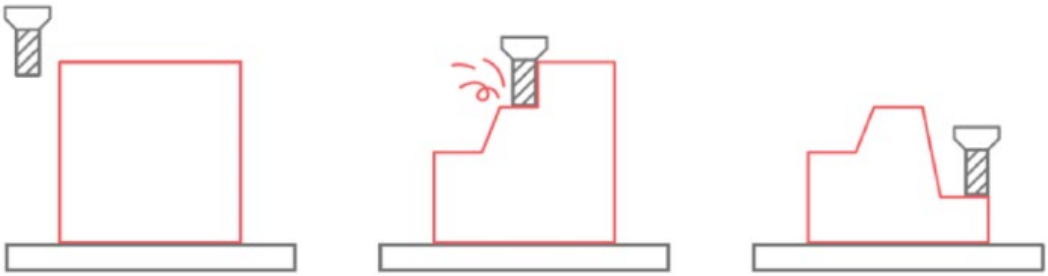
- Prototyping: Hurtig og omkostningseffektiv fremstilling af prototyper.

- Tilpasset Produktion: Ideel til at lave tilpassede medicinske implantater og proteser.

- Komplekse Dele: Muliggør produktion af geometrisk komplekse dele uden behov for samling.

Subtractive Manufacturing

Subtractive manufacturing, eller materialefjernende fremstilling, er en traditionel fremstillingsmetode, der involverer skæring, boring eller fræsning af et fast stykke materiale.



Figur 8 - Subtractive Manufacturing (Kilde: The 3D Printing Handbook)

© AM Learning Lab 2024.

Eksempler på udstyr til subtractive manufacturing

1. CNC-fræser

2. CNC-drejebænke

3. manuelle borer/fræsemaskiner eller drejebænke

Materialer og Brancher

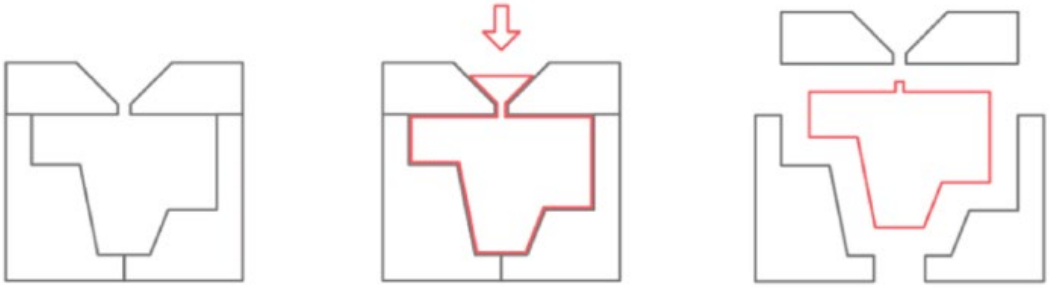
- Metaller og stållegeringer

- Plastik

- Brancher: Anvendes bredt i bland andet automotive, luftfart og maskinproduktion.

Formative Manufacturing

Formative manufacturing involverer formning og formgivning af materialer ved hjælp af forskellige processer såsom støbning, smedning og termoformning.



Figur 9 - Formative Manufacturing (Kilde: The 3D Printing Handbook)

Processer og Materialer

1. Støbning: Indbefatter smeltning og hældning af metal i forme.

2. Smedning: Formning af metal ved hjælp af varme og tryk.

3. Termoformning: Opvarmning og formning af plastplader.

Anvendelsesområder

- Automotive og Luftfart: Fremstilling af store, ensartede komponenter.

- Byggeri: Produktion af strukturelle komponenter.

Sammenligning og Fremtidsudsigter

Mens 3D-print tilbyder enestående designfleksibilitet og effektivitet, er subtractive og formative manufacturing fortsat afgørende for masseproduktion og fremstilling af standardkomponenter. Den fremtidige retning af fremstillingsindustrien vil sandsynligvis omfatte en hybrid tilgang, der integrerer

styrkerne ved hver metode. For eksempel kan 3D-print bruges til at skabe komplekse prototyper, mens subtractive eller formative metoder anvendes til masseproduktion.

Med den fortsatte udvikling inden for materialevidenskab og digital teknologi, vil 3D-print uden tvivl finde nye anvendelsesområder og blive yderligere integreret i traditionelle fremstillingsprocesser. Denne integration vil sandsynligvis føre til en mere effektiv, tilpasningsdygtig og bæredygtig fremstillingsindustri.

Fremtiden for Dansk Industri: Additive manufacturing

I en verden, hvor innovation og bæredygtighed er nøgleord for erhvervssucces, står danske virksomheder over for en gylden mulighed: at integrere 3D printteknologier i deres produktionsprocesser. Dette kapitel undersøger, hvorfor det er essentielt for danske virksomheder at omfavne 3D print og hvordan det kan være en katalysator for både økonomisk vækst og bæredygtig udvikling.

1. Forkortelse af Forsyningskæder:

3D print tilbyder en enestående chance for at revolutionere traditionelle forsyningskæder. Ved at flytte produktionen tættere på det endelige salgssted, kan danske virksomheder drastisk reducere leveringstider og logistikomkostninger. Denne nærhed til markedet sikrer også større fleksibilitet i produktionen og hurtigere reaktion på forbrugernes skiftende behov. Det er ikke kun en forbedring i effektivitet; det er en komplet omstrukturering af produktionsdynamikken.

2. Bidrag til den Grønne Omstilling:

3D print har potentiale til at spille en central rolle i den grønne omstilling. Denne teknologi muliggør en mere præcis brug af materialer, hvilket reducerer affald. Desuden tillader den brugen af en bred vifte af genanvendelige og bæredygtige materialer. Ved at implementere 3D print kan danske virksomheder markant nedbringe deres CO2 aftryk og fremvise en forpligtelse over for miljømæssigt ansvarlig produktion.

3. Øget Bæredygtighed i Produktion:

3D print tilbyder en mere bæredygtig produktionsmetode på flere fronter. For det første er den mere energieffektiv sammenlignet med traditionelle fremstillingsmetoder. For det andet giver den mulighed for at producere komplekse dele uden det store materialeforbrug, der ofte ses i konventionel fremstilling. Denne reduktion i ressourceforbrug er ikke kun godt for miljøet, men også for virksomhedernes bundlinje.

4. Tilpasning til Fremtidens Marked:

I takt med at forbrugerne bliver mere miljøbevidste, bliver bæredygtighed en stadig vigtigere faktor i deres købsbeslutninger. Ved at adoptere 3D printteknologi viser danske virksomheder, at de er i front med innovation og bæredygtighed. Dette kan være et betydeligt konkurrenceparameter, der kan skabe nye markedsandele og styrke brandet.

5. Øget Agilitet i Produktionen:

En af de mest betydningsfulde fordele ved 3D printteknologi er dens bidrag til øget agilitet i produktionsprocesser. I modsætning til traditionelle fremstillingsmetoder, hvor omstilling af produktionen til et nyt produkt kan være tidskrævende og omkostningsintensiv, tillader 3D print en hurtig og

© AM Learning Lab 2024.

omkostningseffektiv overgang. Denne fleksibilitet er især værdifuld i en tid, hvor markedstrends og forbrugerpræferencer ændrer sig med hidtil uset hastighed.

Ved at bruge 3D print kan virksomheder nemt tilpasse og modificere design, uden behov for nye værktøjer eller omfattende ændringer af produktionslinjen. Dette betyder, at de kan reagere hurtigt på nye markedsbehov eller kundespecifikke anmodninger. For eksempel kan en virksomhed, der identificerer en pludselig efterspørgsel på et unikt produkt, hurtigt ændre sin produktion for at imødekomme denne efterspørgsel, uden at skulle investere i nye, dyre fremstillingsudstyr.

Desuden åbner 3D print op for muligheden for on-demand produktion, hvilket yderligere forbedrer produktionsagiliteten. Virksomheder behøver ikke længere at opbevare store mængder af lager, da de kan producere varer efter behov, hvilket reducerer både lageromkostninger og risikoen for overskydende lager.

Samlet set tilbyder 3D print en løsning, der gør det muligt for danske virksomheder ikke kun at være mere responsive over for markedets dynamik, men også at innovere og tilpasse sig hurtigere end nogensinde før. Dette repræsenterer en afgørende fordel i en verden, hvor evnen til hurtigt at skifte retning kan være forskellen mellem succes og fiasko.

Den danske industri står ved en skillevej, hvor 3D printteknologi tilbyder en vej mod øget effektivitet, bæredygtighed og innovation. Ved at integrere denne teknologi i deres produktionsprocesser kan danske virksomheder ikke alene forbedre deres konkurrenceevne, men også bidrage aktivt til en mere bæredygtig fremtid. Det er tid til at omfavne denne revolutionerende teknologi og forme fremtiden for dansk industri.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel lærte I om den fascinerende historie og udviklingen af 3D-printningsteknologien, fra dens begyndelser i 1980'erne til dens nuværende anvendelser i forskellige industrier. I har opnået indsigt i bidragene fra pionerer inden for feltet og teknologiens evolution gennem årtierne.

Hovedpunkter:

Tidlige Udviklinger:

Hideo Kodama's pionerarbejde i Japan med at skabe tredimensionelle objekter ved hjælp af lagdeling og ultraviolet lys.
Bidragene fra franske ingeniører til stereolitografi (SLA).
Amerikanske Innovationer:

Chuck Hulls opfindelse af SLA og det digitale filformat STL, som er standard for 3D-printdata.
Carl Deckard's udvikling af selektiv laser sintring (SLS), som muliggør skabelsen af mere komplekse og holdbare objekter.
Scott Crump's oprettelse af fused deposition modeling (FDM), som har populariseret 3D-printning.
Moderne 3D-Printning:

Udvidelsen af anvendelige materialer og teknologier, inklusive metallegeringer og avancerede plastikker.
Bioprintningsteknikker, der potentielt kan skabe væv og organer.
Anvendelsen af 3D-print i byggeri, hvor teknologien bruges til at opføre bygninger og strukturer.
Fremtidens Udsigter:

© AM Learning Lab 2024.

Den fortsatte udvikling og integration af 3D-printning i traditionelle fremstillingsprocesser.
Potentialet for nye anvendelser, som kan forandre industrier og produktionsmetoder yderligere.

01- AM-teknologier

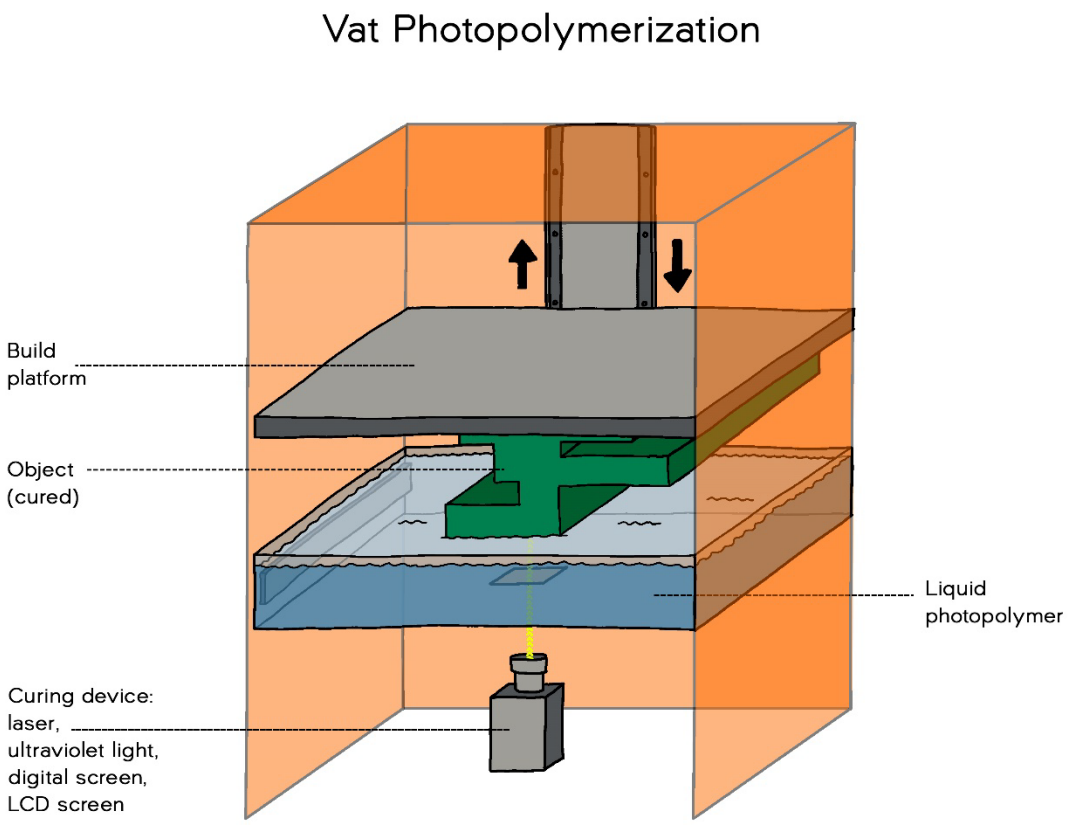
Dette kapitel vil introducere jer til forskellige AM-teknikker, hver med sin unikke arbejdsmetode og applikationsområde, der understøtter fremstillingens fremtid. Fra Vat Photopolymerization, kendt for sin uovertrufne opløsning og overfladefinish, til de mere robuste teknologier som Powder Bed Fusion og Direct Energy Deposition, der tilbyder styrke og holdbarhed for industriel brug. I vil også komme ind omkring mindre kendte, men lige så vigtige teknologier som Binder Jetting og Material Jetting, der åbner op for nye muligheder inden for design og materialevalg.

Rejsen igennem disse teknologier vil ikke blot fokusere på teknologiernes tekniske aspekter, men også på de sundheds-, sikkerheds- og miljøhensyn, der skal overvejes, samt teknologiernes fordele og ulemper i forskellige anvendelsesområder. Uanset om I har forudgående kendskab til AM-teknologierne eller ej, vil dette kapitel tilbyde en klar og omfattende forståelse af potentialer ved AM-teknologier i moderne fremstilling.

© AM Learning Lab 2024.

Vat Photopolymerization

En Additive Manufacturing-teknologi kendt for sin høj opløsning og finish.



Figur 10 - Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Teknologier under Vat Photopolymerization

Vat Photopolymerization dækker flere specifikke teknologier, såsom:

- Stereolithografi (SLA): Dette er en af de mest traditionelle former, hvor en UV-laser bruges til præcist at hærde flydende resin, lag for lag.

- Digital Light Processing (DLP): Ligner SLA men anvender en digital lysprojektor, som hærder hele lag af resin på en gang, hvilket øger hastigheden.

- Continuous Liquid Interface Production (CLIP): En avanceret metode, der tillader kontinuerlig fremstilling ved at hæve objektet op fra resinbadet, hvilket yderligere fremskynder processen.

© AM Learning Lab 2024.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/CNdqu3C9UAk?si=EnRnIr3dXQG-D4a6

Overordnet virkemåde

Ved Vat Photopolymerization nedsænkes en byggeplatform i et bassin fyldt med flydende fotopolymer resin. UV-lys (enten fra en laser eller en projektor) anvendes derefter til at hærde resinet lag for lag, mens byggeplatformen langsomt løftes, og det tredimensionelle objekt tager form.

Figur 11 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

Materialerne, der anvendes i Vat Photopolymerization, er primært fotopolymer resins, som hærder, når de udsættes for UV-lys. Disse resins varierer i egenskaber som styrke, fleksibilitet og transparens, hvilket gør det muligt at anvende teknologien til en række forskellige formål.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Personlig beskyttelse: Det anbefales at bruge beskyttelseshandsker og sikkerhedsbriller for at undgå direkte kontakt med resinet og beskytte øjnene mod UV-lys. Der er i Danmark et krav om at hvis man erhvervsmæssigt arbejder med epoxy, så skal man have gennemført og bestået kurset "Personlig sikkerhed ved arbejde med epoxy og isocyanater" hvor man lære at beskytte sig selv på korrekt mod eksponering af epoxy. Man lærer også at læse produkternes sikkerhedsdatablade og MAL kode, så man kan afkode hvordan man skal beskytte sig.

- Ventilation: Effektiv ventilation er afgørende, da nogle resins kan frigive potentielt skadelige dampe under hærdningsprocessen.

- Bortskaffelse af affald: Korrekt bortskaffelse af overskydende resin og rengøring af udstyr er vigtigt for miljøbeskyttelsen.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Mulighed for at producere dele med meget høj detaljeringsgrad og glatte overflader.
- Egnet til komplekse geometrier, som er svære at fremstille med traditionelle metoder.

Ulempe:

- Begrænsninger i størrelsen på de dele, der kan produceres, på grund af størrelsen af resinbassinet.
- Højere omkostninger for materialer sammenlignet med nogle andre additive manufacturing teknikker.

© AM Learning Lab 2024.

Brancher der anvender teknologien

- Medicinsk sektor: For fremstilling af skræddersyede proteser, dentalindretninger og modeller til kirurgisk planlægning.

- Smykkeindustrien: Til at skabe detaljerede prototyper og voksmodeller som kan støbes om til endelige produkter.

- Design og prototyper: Bredt anvendt i industrielt design for at skabe præcise prototyper hurtigt.

Eksempler på produkter

- Dentale indretninger: Skræddersyede bøjler, bideskinner, tandkroner og -broer, fremstillet for en perfekt pasform.

- Smykker: Komplekse og detaljerede smykkedele, som ofte er vanskelige at realisere med traditionelle metoder.

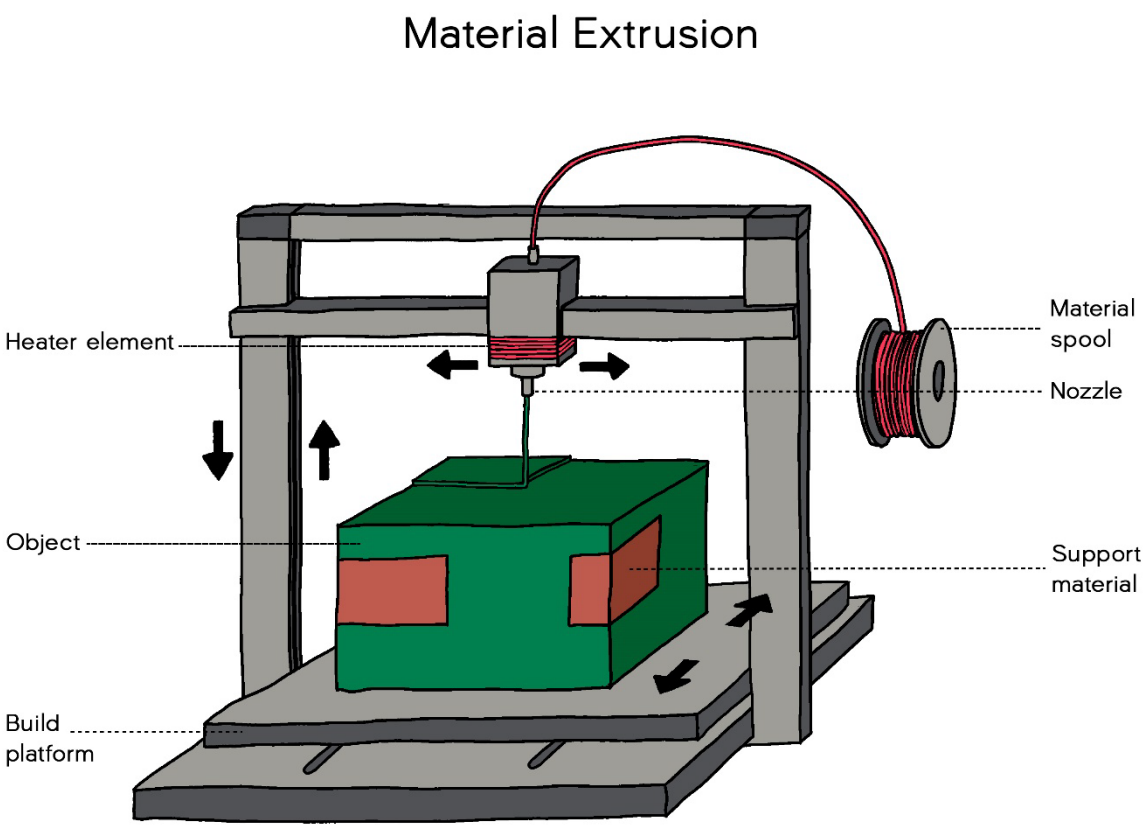
- Prototyper: Højdetaljerede modeller brugt indenfor design og arkitektur for visuel præsentation og funktionsanalyse.



Figur 12 - Eksempler på emner der er printet med SLA teknologien

© AM Learning Lab 2024.

Material Extrusion



Figur 13- Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Teknologier under Material Extrusion

De mest kendte teknologier inden for material extrusion inkluderer:

- Fused Deposition Modeling (FDM): Dette er den mest udbredte og kommercielt tilgængelige form for material extrusion.

- **Fused Filament Fabrication (FFF):** Ofte betragtet som synonym med FDM, er denne teknologi fokuseret på brug af termoplastiske filamenter.

© AM Learning Lab 2024.

Overordnet virkemåde

Material extrusion arbejder ved at presse et materiale, typisk et plastikfilament, gennem en opvarmet dyse, der smelter materialet. Dysen bevæger sig i X-Y-Z retninger styret af en række isokoder generet af at slicer-software, og deponerer det smeltede materiale lag for lag, som hurtigt hærder og danner det endelige emne.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/R-a7skMoiKw?si=ssod5wOek65n770U

Figur 14 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

Materialerne brugt i denne proces er typisk termoplastiske polymerer i form af filament. De mest almindelige materialer er:

- Acrylonitril-Butadien-Styren (ABS): Et robust og varmeresistent plastik.

- Polylactic Acid (PLA): En biologisk nedbrydelig plast lavet fra majsstivelse eller sukkerrør.

- Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG): En stærk og varmebestandig variant af PET.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Udluftning: Nogle materialer kan frigive fine partikler eller dampe under opvarmning, som kræver god udluftning.

- Personlig beskyttelse: Det anbefales at bruge personligt sikkerhedsudstyr, såsom handsker og sikkerhedsbriller, når man håndterer det varme udstyr og det smeltede materiale.

- Energiforbrug: Optimering af energiforbruget er vigtigt for at minimere miljøpåvirkningen.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Let tilgængelig og brugervenlig.

- Stort udvalg af materialer.

- Lav opstartsomkostning og bredt tilgængeligt udstyr.

Ulemper:

- Begrænset opløsning og overfladekvalitet sammenlignet med andre additiv fremstillings teknologier.

- Begrænset styrke og holdbarhed i dele, især i z-retningen.

© AM Learning Lab 2024.

Brancher der anvender teknologien

- Uddannelse: Skoler og universiteter til at undervise i ingeniør- og designkoncepter.

- Prototyping: Virksomheder bruger teknologien til hurtigt at udvikle prototyper af nye produkter.

- Produktion: Nogle produktionsvirksomheder bruger FDM til at lave færdige produkter eller dele.

Eksempler på produkter

- Husstandsartikler: Legetøj, telefonholdere og køkkenredskaber.

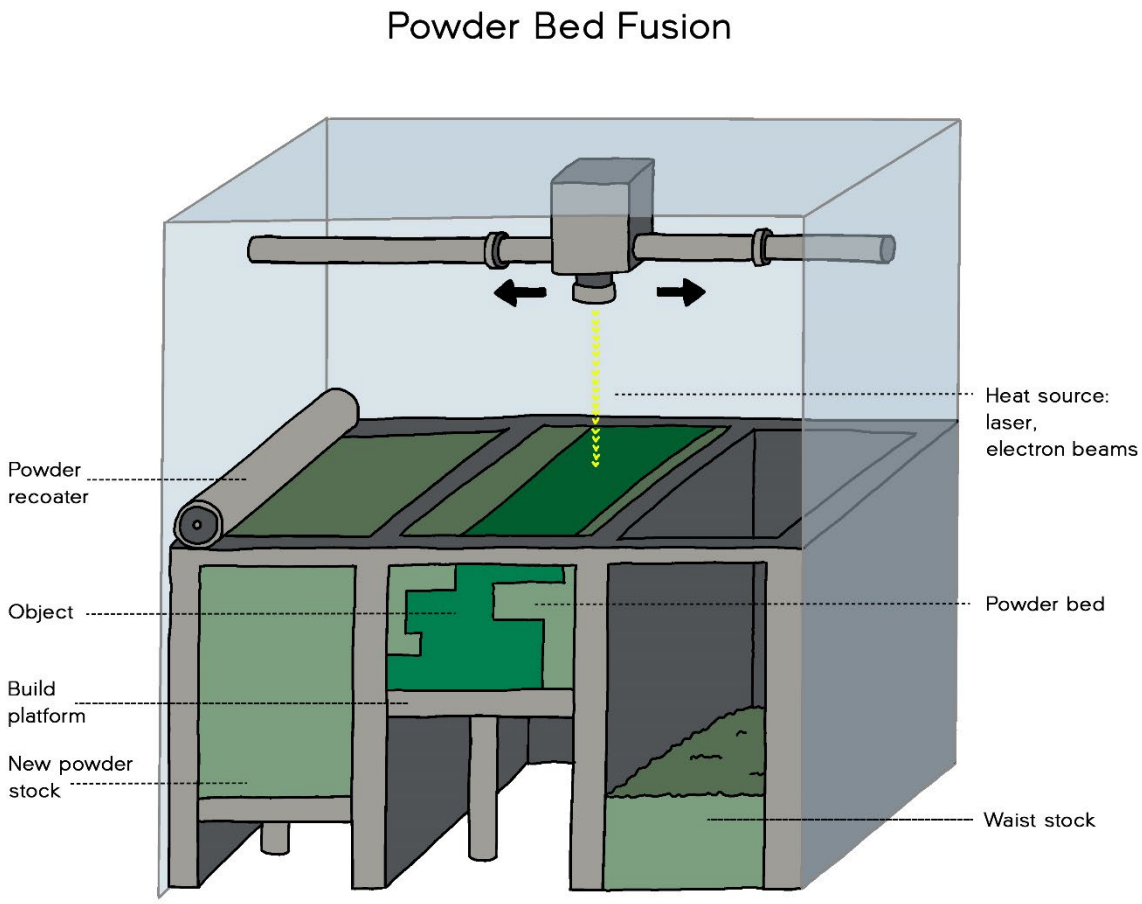
- Uddannelsesmodeller: Geometriske former og anatomiske modeller for undervisningsbrug.

- Industrielle komponenter: Brugerdefinerede beslag, jigs og fixtures til produktionsfaciliteter.



Figur 15 - Eksempler på emner printet på FDM teknologien

© AM Learning Lab 2024.



Figur 16 - Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Powder Bed Fusion

Powder Bed Fusion (PBF) er en avanceret additivfremstillingsteknologi, der bruger termisk energi til at smelte og sammensmelte pulvermateriale, lag for lag, for at skabe et objekt. Her er en gennemgang af de væsentlige aspekter af PBF-teknologi:

Teknologier under Powder Bed Fusion

Nogle af de mest bemærkelsesværdige PBF-teknologier omfatter:

- Selective Laser Sintering (SLS): Bruger en laser til at sammensmelte partikler af termoplast, metal, keramik eller glas.

© AM Learning Lab 2024.

- Direct Metal Laser Sintering (DMLS): Ligner SLS, men er specifikt rettet mod metaller.

- Electron Beam Melting (EBM): Anvender en elektronstråle i stedet for en laser og er typisk brugt til metaller.

- Selective Laser Melting (SLM): Smelter helt metalpulverpartikler sammen til en solid masse, som giver stærkere strukturer end DMLS.

Overordnet virkemåde

I PBF-teknologier spredes et tyndt lag af pulver på en byggeplatform. En varmekilde, såsom en laser eller en elektronstråle, rastes derefter over pulverlaget for at smelte og sammensmelte pulveret på de specifikke koordinater defineret af 3D-designfilen. Efter hvert lag sænkes platformen, og et nyt lag pulver påføres for yderligere sammensmeltning, indtil objektet er fuldt dannet.

Se hvordan teknologien virker:

Plast:

https://youtu.be/jCb8AOMzxWk?si=1QTzrtpBHZj6LV3i

Metal:

https://youtu.be/lnYR0lJuaQE?si=_8EKk5QvcNuMmTMl

Figur 17 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

De typiske materialer anvendt i PBF inkluderer:

- Nylon og andre termoplaste: Populære for deres lette vægt og holdbarhed i SLS-processer.

- Metallegeringer: Såsom titanium, aluminium, stål og nikkelbaserede superlegeringer, ofte brugt i SLM og DMLS.

- Keramik og glas: Til specialiserede applikationer, der kræver høj temperaturresistens eller biokompatibilitet.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Åndedrætsbeskyttelse: Fint pulver kan være skadeligt at indånde, så åndedrætsværn er afgørende.

- Eksponering for stråling: Ved EBM skal man beskytte sig mod eksponering for elektronstråler.

- Støvkontrol: Pulverstyring og recirkulation skal være effektive for at minimere spild og sikre et sikkert arbejdsmiljø.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Mulighed for at producere komplekse geometrier, som ikke kan fremstilles med traditionelle metoder.

- Høj styrke og mekanisk præstation af færdige dele.

© AM Learning Lab 2024.

- Muliggør massepersonalisering og -produktion uden ekstra omkostninger.

Ulemper:

- Højere materiale- og maskinomkostninger.
- Behov for efterbehandling af dele, herunder fjernelse af understøttelser og overfladebehandling.
- Potentielle problemer med pulverstyring og opbevaring.

Brancher der anvender teknologien

- Luftfart: Til fremstilling af lette og stærke komponenter.
- Medicinsk sektor: Til brugerdefinerede implantater og proteser.
- Automobilindustrien: For avancerede prototyper og endelige dele med komplekse design.

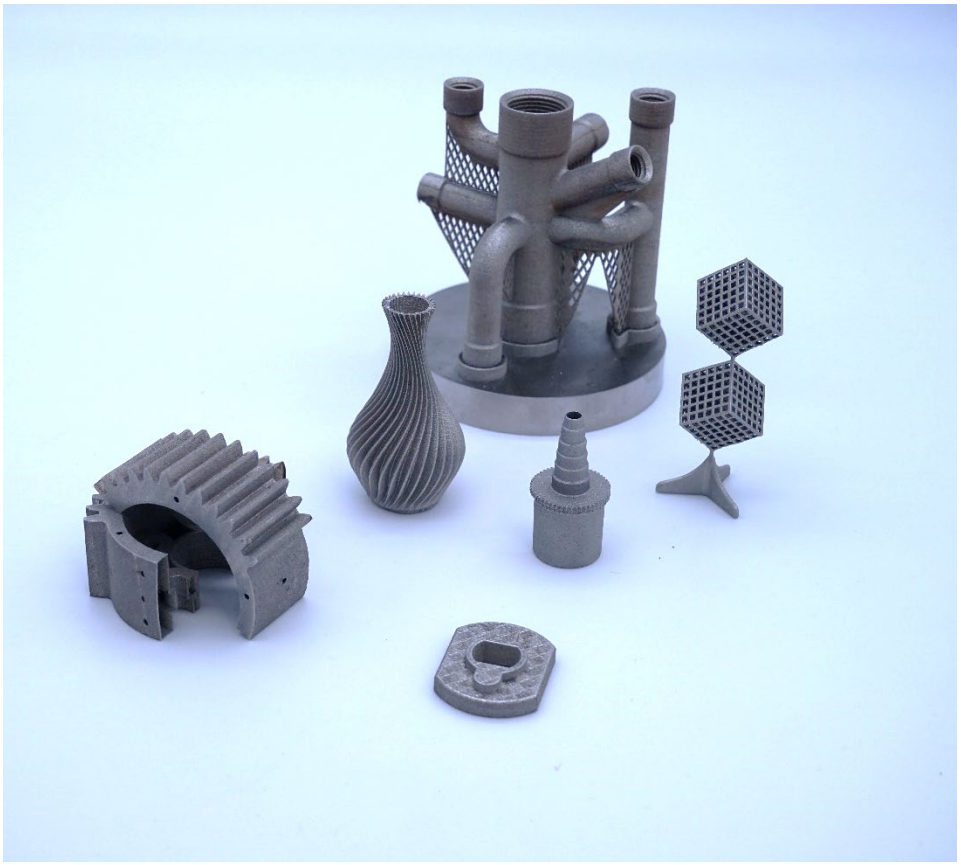
Eksempler på produkter

- Implantater: Hofteskåle, knoglefiksturer og tandimplantater skræddersyet til patienter.
- Luftfartsdele: Brændstofdyser, beslag og komponenter til motoren, hvor vægtbesparelse er afgørende.
- Prototyper: Funktionelle komponenter til test og validering inden masseproduktion.



Figur 18 - Eksempler på emner printet på SLS teknologien

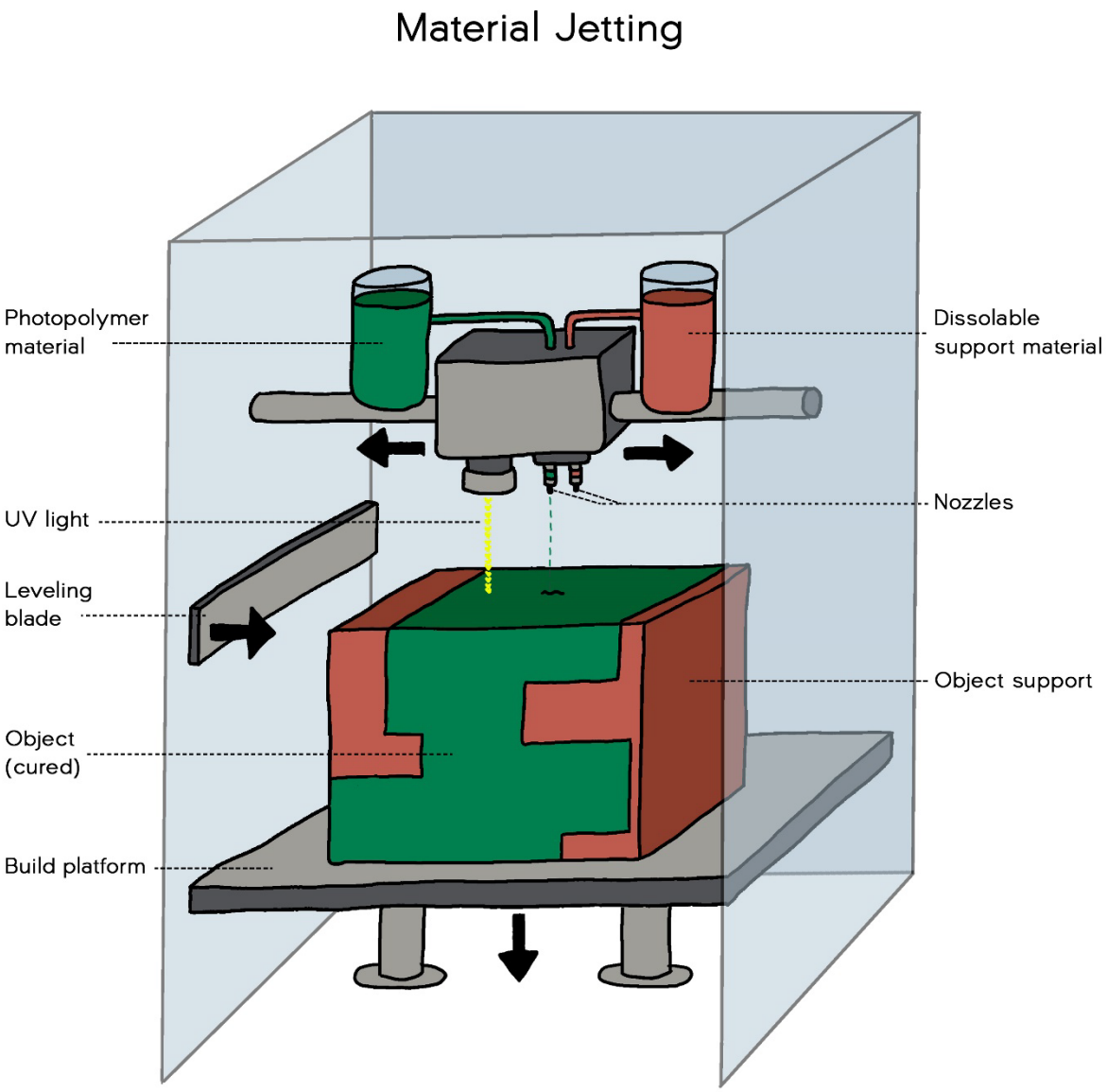
© AM Learning Lab 2024.



Figur 19 - Eksempler på emner printet på SLM teknologien

© AM Learning Lab 2024.

Material Jetting



Figur 20- Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Material Jetting er en fascinerende gren af additiv fremstilling, der kombinerer aspekter af inkjetprint-teknologi med lag-på-lag konstruktion, som anvendes til at skabe præcise og detaljerige 3D-objekter. Her er en oversigt over denne teknologi:

© AM Learning Lab 2024.

Teknologier under Material Jetting

- Drop on Demand (DOD): Selektivt deponerer små dråber af smeltet materiale eller fotopolymer, som hærdes efter påføring.

- PolyJet: Anvender fotopolymere resins, som hærdes ved hjælp af UV-lys straks efter påføring.

- NanoParticle Jetting (NPJ): Bruger en suspendering af nanopartikler i et flydende bindemiddel, som fjernes efter byggeprocessen.

Overordnet virkemåde

I Material Jetting-teknologier anvendes en printhoved som kan bevæge sig i X- og Y-retningerne over en byggeplatform. Dette printhoved deponerer små dråber af byggematerialet, som enten kan være et lysfølsomt resin, som hærdes med UV-lys, eller et smeltet voks- eller metalbaseret materiale. Lagene bygges op én efter én for at skabe det ønskede objekt.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/2JkoR3iK7_k?si=EGJcGgnWXRZX6N6e

Figur 21 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

- Fotopolymerer: Resins, der kan hærdes ved eksponering for UV-lys, anvendt i PolyJet og lignende processer.

- Voksbaserede materialer: Brugt til at skabe midlertidige understøttelsesstrukturer eller støbeforme.

- Metaller: Nanopartikelsuspensioner, som senere kan sintres til solide metalobjekter.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Beskyttelsesudstyr: Anvendelse af sikkerhedsbriller og handsker, særligt når man håndterer fotopolymere resins.

- Ventilation: Sørg for god ventilation for at undgå indånding af dampe fra smeltede materialer eller fotopolymere resins.

- Affaldshåndtering: Korrekt bortskaffelse eller genanvendelse af brugte materialer og affaldsprodukter.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Kan producere objekter med meget høj opløsning og fine detaljer.

- Bred vifte af materialer, herunder flere farver og materialer i en enkelt print.

- Relativt rene og sikre processer, som ofte kræver minimal efterbehandling.

© AM Learning Lab 2024.

Ulemper:

- Materialerne kan være dyre, og maskinerne har højere driftsomkostninger.

- Materialets mekaniske egenskaber kan være lavere sammenlignet med dem fra andre fremstillingsteknikker.

- Resins kan ændre egenskaber over tid, især hvis de udsættes for lys og varme.

Brancher der anvender teknologien

- Prototypedesign: Til at skabe detaljerede og funktionsdygtige prototyper hurtigt.

- Dentallaboratorier: Til produktion af dental- og ortodontisk apparatur som skinner og kroner.

- Uddannelse: Til at give studerende mulighed for at arbejde med komplekse designs og skabe realistiske modeller.

Eksempler på produkter

- Funktionsmodeller: Designmodeller med glatte overflader og komplekse detaljer, som bruges inden for industrielt design.

- Dentalindretninger: Skræddersyede kroner, broer og retainere lavet hurtigt og præcist.

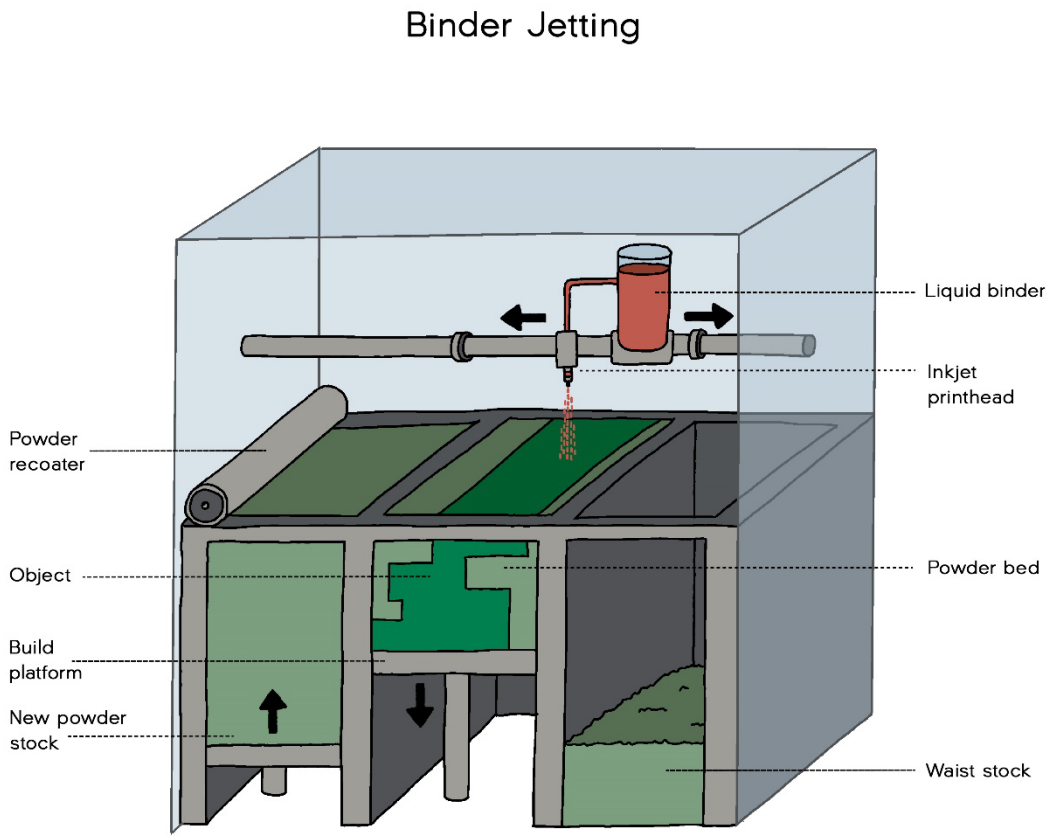
- Uddannelsesmodeller: Anatomiske modeller og replikaer til læring og demonstration i klasseværelset.



Figur 22 - Eksempel på emner printet på Polyjet teknologien

© AM Learning Lab 2024.

Binder Jetting



Figur 23- Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Binder Jetting er en additivfremstillingsteknologi, der anvender et bindemiddel til at sammenbinde pulvermateriale. Det er en alsidig proces, der kan arbejde med et bredt spektrum af materialer, og her er en gennemgang til brug i undervisningsmateriale:

Teknologier under Binder Jetting

Binder Jetting-teknologien er unik og derfor primært kendt under sit eget navn, men den kan variere i form af de materialer og bindemidler, der anvendes.

© AM Learning Lab 2024.

Overordnet virkemåde

I Binder Jetting-processen distribueres et tyndt lag af pulvermateriale på en byggeplatform. Herefter bevæger et printhoved sig hen over pulveret og deponerer et bindemiddel på de specifikke områder, der skal binde pulveret sammen og skabe det ønskede lag af produktet. Når et lag er færdigt, sænkes platformen, og et nyt lag pulver distribueres for at bygge det næste lag. Efter printningen er det nødvendigt med en efterbehandlingsproces, som kan inkludere hærdning, infiltration eller sintering for at opnå den endelige dels styrke og stabilitet.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/gwHcDjeOIxc?si=5WNw0iI2Jnm6mcph

Figur 24 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

- Sand: Anvendes til at lave støbeforme og kerner for metalstøbning.

- Metaller: Stål, rustfrit stål, og andre metallegeringer kan bruges til direkte fremstilling af dele eller støbeforme.

- Keramik: Til fremstilling af komplekse keramiske dele.

- Gipsbaserede materialer: Bruges til farverige og detaljerede arkitektoniske eller kunstneriske modeller.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Støvkontrol: Det er vigtigt at minimere indånding af pulverpartikler ved at bruge passende åndedrætsværn og sikre god ventilation.

- Sikker håndtering: Brug af handsker og beskyttelsesdragt kan være nødvendig for at håndtere materialerne sikkert.

- Efterbehandling: Afhængig af materiale kan efterbehandlingsprocesser kræve yderligere sikkerhedsforanstaltninger, især når det indebærer varmebehandling.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Kan arbejde med et bredt udvalg af materialer og er i stand til at skabe store dele.

- Mindre spild af materiale sammenlignet med andre additive fremstillingsteknologier.

- God til at fremstille komplekse geometrier og indvendige hulrum uden brug af understøttelsesstrukturer.

Ulemper:

- Færdige dele kan have lavere mekanisk styrke og kræver ofte efterbehandling.

© AM Learning Lab 2024.

- Overfladefinish kan være grovere sammenlignet med andre additive fremstillingsteknikker.

- Præcisionskontrollen kan være en udfordring for visse typer materialer.

Brancher der anvender teknologien

- Støbning: Til fremstilling af sandforme og kerner for metalfremstilling.

- Arkitektur: Til modeller af bygninger eller landskaber.

- Smykker: Til skabelsen af komplekse designs, der senere støbes i metal.

- Kunst og design: Til skulpturer og designelementer, hvor farveintegration er en fordel.

Eksempler på produkter

- Støbeforme og kerner: Anvendt inden for traditionel metalstøbning til at skabe komplekse dele.

- Arkitektoniske modeller: Detaljerede og præcise modeller af bygninger, brugt i planlægnings- og præsentationsformål.

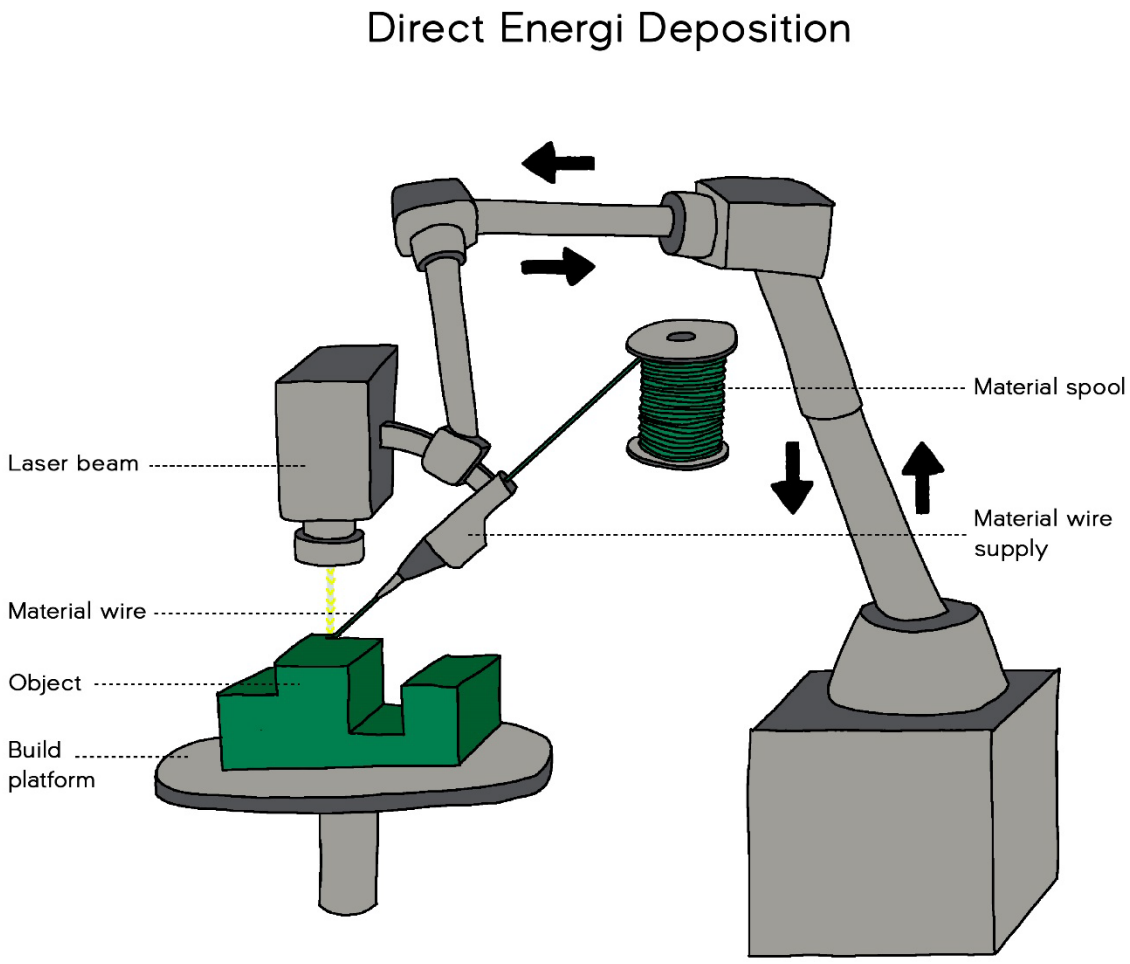
- Smykker: Prototyper til støbning eller direkte printede smykker i specialiserede materialer.



Figur 25 - Eksempler på emner printet på Binder jetting teknologien

© AM Learning Lab 2024.

Direct energy deposition



Figur 26- Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Direct Energy Deposition (DED) er en avanceret form for additiv fremstilling, der er særligt nyttig for reparation eller tilføjelse af materiale til eksisterende komponenter. Her er en gennemgang af DED-teknologien:

© AM Learning Lab 2024.

Teknologier under Direct Energy Deposition

DED-teknologien indbefatter forskellige metoder, såsom:

- Laser Engineered Net Shaping (LENS): Anvender en laser til at smelte metallet, mens det deponeres.

- Directed Light Fabrication (DLF): Ligner LENS, men med en mere avanceret laserstyring.

- Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM): Bruger en elektronstråle som varmekilde.

Overordnet virkemåde

I DED-processen føres et materiale til en dyse, der smelter materialet ved hjælp af en energikilde, som en laser eller en elektronstråle. Materialet deponeres direkte på en byggeplatform eller et eksisterende komponent, hvor det hærder og binder sig til det underliggende materiale. Dette sker ofte i et miljø beskyttet af en inaktiv gas for at forhindre oxidation.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/kHnhf9Uzp2k?si=7s5hnh_P4m9UHnJS

Figur 27 - Kilde: www.3dnatives.com

Materialetyper

Materialerne der anvendes i DED omfatter:

- Metallegeringer: Som titanium, stål og nikkelbaserede legeringer.

- Kompositmaterialer: Forstærkede materialer som kan indeholde metalmatrixkompositter.

- Højtemperaturmaterialer: Såsom keramik og specielle legeringer designet til ekstreme miljøer.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Strålingssikkerhed: Beskyttelse mod laser- eller elektronstråling er nødvendig.

- Ventilation: Effektiv udsugning er vigtig for at håndtere dampe og røg, der opstår under smeltningen.

- Energiforbrug og bæredygtighed: Optimering af energiforbruget og genbrug af materialer er vigtigt for miljøet.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Kan tilføje materiale til komplekse eller skadede dele, hvilket forlænger deres levetid.

- Giver mulighed for at fremstille dele med gradient materialer eller forskellige materialeegenskaber i ét stykke.

- Kan anvendes til at fremstille store dele hurtigt.

© AM Learning Lab 2024.

Ulemper:

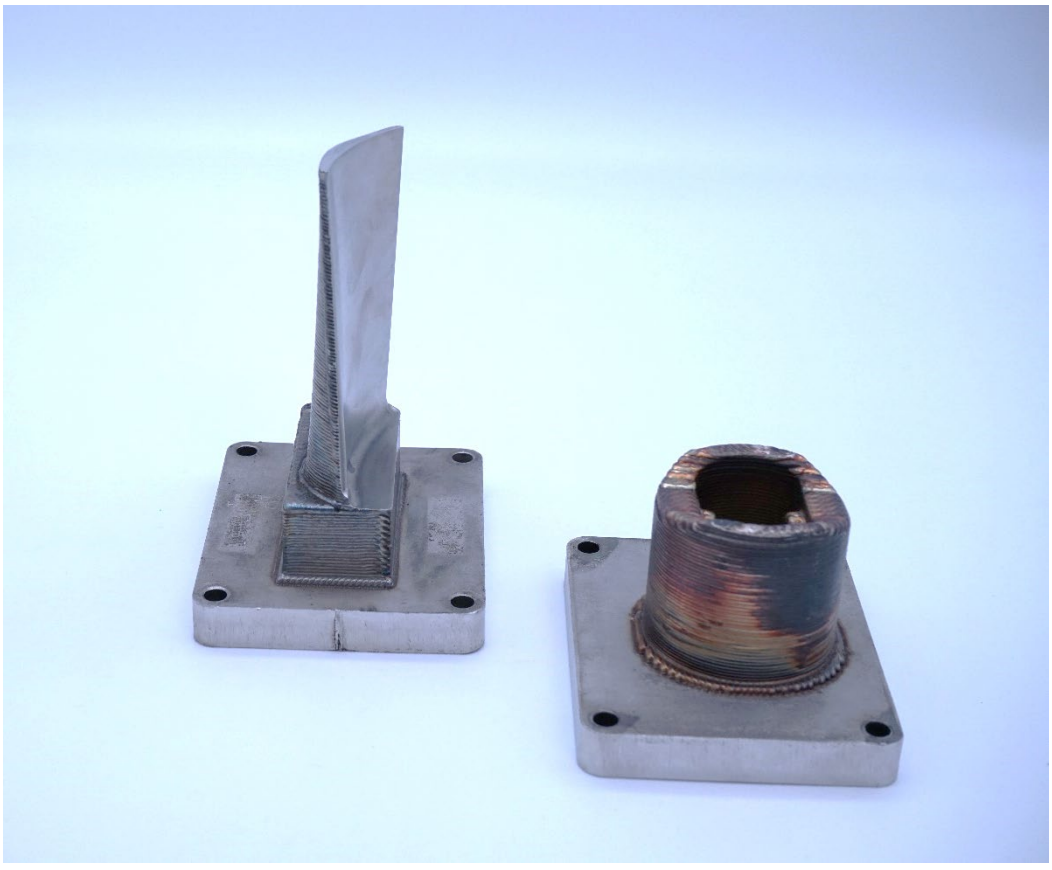
- Oftest lavere overfladekvalitet sammenlignet med andre additivfremstillingsteknikker.
- Kræver ofte efterbehandling for at opnå ønskede overfladeegenskaber eller dimensioner.
- Kan være dyrere pga. det avancerede udstyr og materialetype.

Brancher der anvender teknologien

- Aerospace: Reparation af turbindele eller fremstilling af dele med komplekse interne strukturer.
- Energi: Tilføjelse af slidlag på komponenter udsat for ekstreme forhold.
- Værft og maritim sektor: Reparation og forstærkning af metaldele på skibe og undervandsudstyr.

Eksempler på produkter

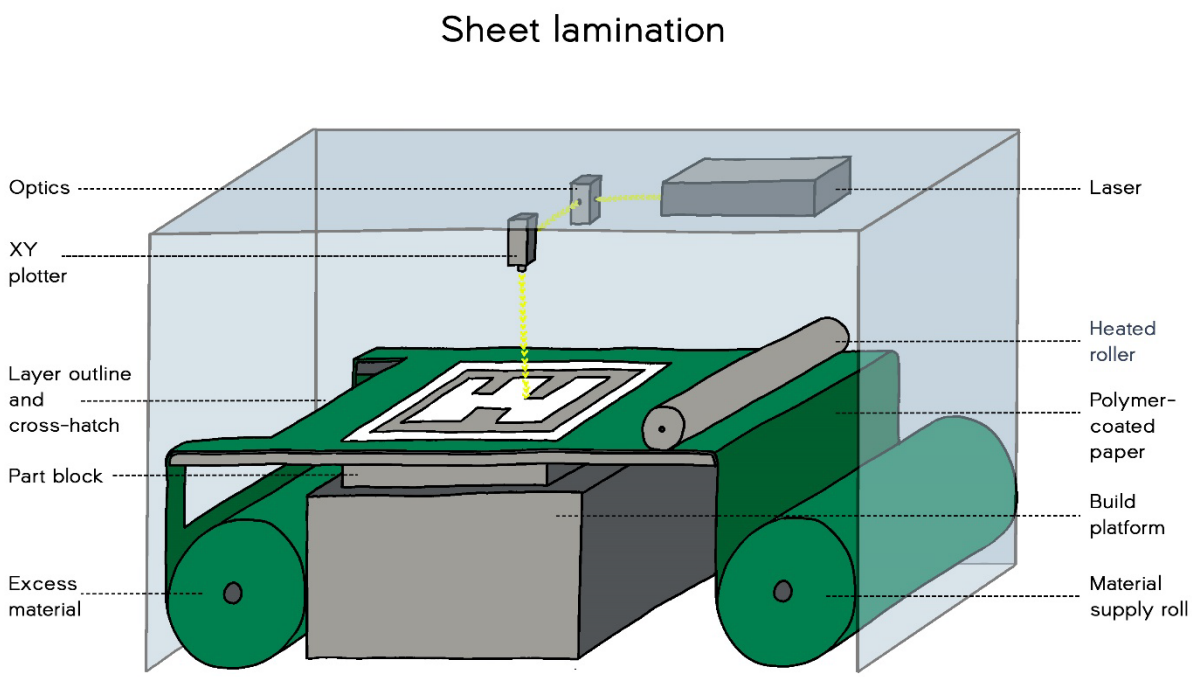
- Reparation af komponenter: Bl.a. reparation af skader på turbinblade og andre højværdi komponenter.
- Funktionsgradientdele: Dele der har varierende egenskaber over deres volumen, såsom hårdhed eller resistens mod korrosion.
- Specialdesignede metaldele: Til brug i prototypefremstilling eller små produktserier.



Figur 28 - Eksempel på emner printet på LENS teknologien

© AM Learning Lab 2024.

Sheet lamination



Figur 29- Illustration af fotografikken for AM Learning Lab © 2024

Sheet Lamination, også kendt som lamineret objektfremstilling, er en additivfremstillingsteknologi, der bygger tredimensionelle objekter ved at sammenføje lag af arkmaterialer. Denne metode er især kendt for sin hastighed og evne til at håndtere store objekter. Lad os dykke ned i detaljerne:

Teknologier under Sheet Lamination

Teknologier inden for Sheet Lamination kan omfatte:

- Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM): Bruger ultralyd til at sammenføje tynde metalark ved lav temperatur.

- Laminated Object Manufacturing (LOM): Anvender lag af papir, plastik eller metalark, som skæres til form og limes sammen.

Se hvordan teknologien virker:

https://youtu.be/GUvnz0borAI?si=cuzm0QhNbr12Dii5

Figur 30- Kilde: Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

© AM Learning Lab 2024.

Overordnet virkemåde

I Sheet Lamination-processen anbringes ark af materialet (såsom papir, metal eller plastik) lag for lag på en opbygningsplatform. Hvert nyt lag limes til det forrige og skæres derefter i den ønskede form, typisk med en laser eller en mekanisk skæreenhed. Uønskede dele af laget fjernes, og den næste lagark lægges på. Dette gentages, indtil det tredimensionelle objekt er fuldstændigt.

Materialetyper

- Papir: Ofte behandlet med et klæbemiddel på den ene side og kan have en plastik- eller metalcoating for styrke.

- Metal: Tynde ark kan bruges i UAM-processer.

- Plastik: Tynde plastikfilm eller ark bruges i varianter af LOM.

HSE-forbehold (Health, Safety, Environment)

- Ventilation: Hvis processen indebærer laserskæring, er det vigtigt med ordentlig ventilation for at fjerne røg og dampe.

- Brandsikkerhed: Risikoen for brand under laserskæring kræver passende sikkerhedsforanstaltninger og udstyr.

- Affaldshåndtering: En effektiv affaldshåndteringsstrategi er nødvendig for at håndtere de skårne væk dele og biprodukter.

Fordele og Ulemper

Fordele:

- Hurtig og kosteffektiv produktion af store komponenter.
- Mindre materialeaffald i sammenligning med andre fremstillingsprocesser.
- Kan kombinere forskellige materialer i et enkelt objekt.

Ulemper:

- Delenes styrke kan være mindre end dem skabt ved andre teknikker på grund af lamineringsprocessen.
- Begrænset detaljeniveau og overfladekvalitet.
- Potentielle problemer med binding mellem lagene, afhængigt af materialet og processen.

Brancher der anvender teknologien

- Prototypedesign: Til hurtig og billige fuldstørrelsesmodeller.

© AM Learning Lab 2024.

- Arkitektur: Til at fremstille skalamodeller af bygninger og landskaber.

- Uddannelse: Anvendt til at fremstille demo-emner.

Eksempler på produkter

- Arkitektoniske modeller: Skalamodeller af bygninger, hvilket giver en fysisk repræsentation af designet.

- Uddannelsesværktøjer: Modeller til brug i klasseværelser til at demonstrere matematiske og videnskabelige koncepter.

- Kunst og design: Unikke kunstværker eller dekorative genstande med et lagdelt æstetisk look.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel har I udforsket en række forskellige additiv manufacturing teknologier, deres virkemåder, materialer, anvendelser og de særlige sundheds-, sikkerheds- og miljøhensyn, der er forbundet med hver teknologi. Det giver jer en forståelse af de mange måder, hvorpå 3D-printteknologier kan anvendes på tværs af forskellige brancher.

Hovedpunkter:

Vat Photopolymerization:

Fokus på teknologier som SLA, DLP og CLIP.

Anvendelsen af UV-lys til at hærde flydende resin.

Høje detaljeniveauer og finish, men begrænset af bassinets størrelse og højere materialeomkostninger.

Material Extrusion:

FDM og FFF-teknologier, der bruger termoplastiske filamenter.

Overkommelig og brugervenlig, ideel til uddannelse og prototyping, dog med begrænsninger i opløsning og delstyrke.

Powder Bed Fusion:

Teknologier som SLS, DMLS, EBM og SLM.

Bruger termisk energi til at sammensmelte pulverlag, hvilket er ideelt til komplekse, holdbare dele.

Effektiv til produktion af metal- og plastdele, men med højere omkostninger og efterbehandlingskrav.

Material Jetting:

Teknologier som DOD, PolyJet og NPJ.

Høj opløsning og kapacitet til at printe i flere materialer og farver.

© AM Learning Lab 2024.

Velegnet til detaljerede prototyper og dental anvendelser, men materialerne kan være dyre og har potentielle holdbarhedsproblemer.

Binder Jetting:

Bruger et bindemiddel til at sammenbinde pulvermaterialer.

Alsidig med mulighed for at bruge mange forskellige materialer.

Velegnet til støbning, arkitektoniske modeller og kunstneriske anvendelser, selvom færdige dele ofte kræver efterbehandling for at forbedre styrken.

Direct Energy Deposition:

Inkluderer teknologier som LENS, DLF og EBAM.

Ideel til reparation og tilføjelse af materialer til eksisterende komponenter.

Muliggør fremstilling af store eller komplekse metaldele, men kan have lavere overfladekvalitet og højere omkostninger.

Sheet Lamination:

Teknologier som UAM og LOM.

Hurtig og omkostningseffektiv til store komponenter.

Anvendes til alt fra uddannelsesmodeller til arkitektoniske skalamodeller, men kan have begrænset detaljeniveau og delstyrke.

Generelt læringsudbytte: I har fået indsigt i, hvordan forskellige 3D-printteknologier kan tilpasses specifikke behov og anvendelser, deres miljøpåvirkninger og de sikkerhedsmæssige forholdsregler, der skal tages. I vil være i stand til at forstå fordele og ulemper ved hver teknologi, hvilket forbereder jer til at vælge den passende metode til forskellige anvendelser i fremtiden.

© AM Learning Lab 2024.

02- Slicer-software

Introduktion til Bambu Studio

I dette afsnit vil I blive præsenteret for et slicer-software kaldet Bambu Studio. Bambu Studio er udviklet af Bambu Lab og er det foretrukne slicer-software hvis man benytter sig af, en af Bambu Labs 3D printere som f.eks. Bambu Lab X1 Carbon. Bambu Studio kan også anvendes som slicer-software til en række andre 3D-printere, og har en lang række præinstalleret maskinparameter til forskellige 3D-printere.

Ud over en præsentation af brugergrænsefladen i software, vil I også blive taget igennem hvordan man tilføjer maskinparameter, opsætter materialer, og hvordan man slicer en 3D part så den kan printes. Alt sammen understøttet af en række opgaver som skal løses undervejs.

Hvis Bambu Studio ikke allerede er installeret på computeren, så skal I installere slicer-softwaret på computeren, og opret eventuel en bruger for at få den fulde oplevelse af software.

I kan hente den nyeste version af Bambu Studio. Scan QR koden eller brug linket:

www.bambulab.com/en/download/studio

På næste side kan I se hvor I kan finde de forskellige menuer i Bambu Studio, efterfølgende vil hver enkelt menus funktioner blive uddybet, så I ved hvor I efterfølgende kan finde de forskellige parameter og funktioner.

VIGTIGT!

Inden I begynder at ændre på indstillinger i Bambu Studio er det en god ide først at gemme en config fil med default indstillinger. Så har I altid defaultindstillingerne at vende tilbage til hvis I får ændret på noget som gør, at ingen ting længere virker og at I kan printe. Scan QR koden med jeres mobiltelefon for at se hvordan I gemmer en config fil.

https://youtu.be/P0g2KN2I5Os

© AM Learning Lab 2024.

Hovedmenuen:
Bruges til at skifte mellem forskellige brugerflader alt efter hvilket stadige dit projekt befinder sig i.

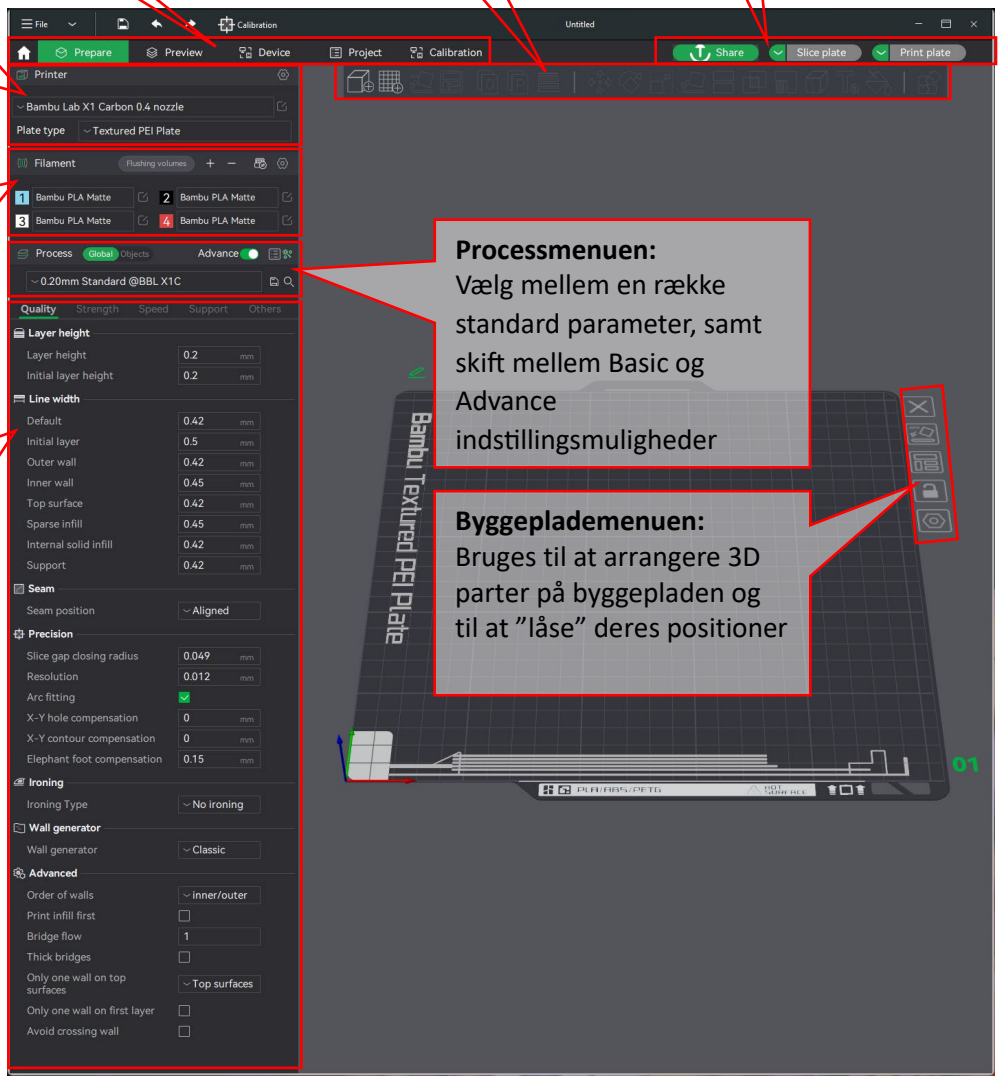
Editormenu:
Bruges til at tilføje/fjerne 3D parter fra byggepladen, samt at manipulere med 3D parterne

Slicermenu:
Her kan projekter deles, slices og printes

Printermenuen:
Denne menu bruges til at vælge den 3D-printer og byggepladen man ønsker til en given opgave.

Filamentmenuen:
Bruges til at vælge filament og filamentindstillinger til en given opgave

Parametermenuen:
Bruges til at indstille alle former for printparameter for den valgte 3D-printer og 3D part. Bemærk! Flere faner.



Processmenuen:
Vælg mellem en række standard parameter, samt skift mellem Basic og Advance indstillingsmuligheder

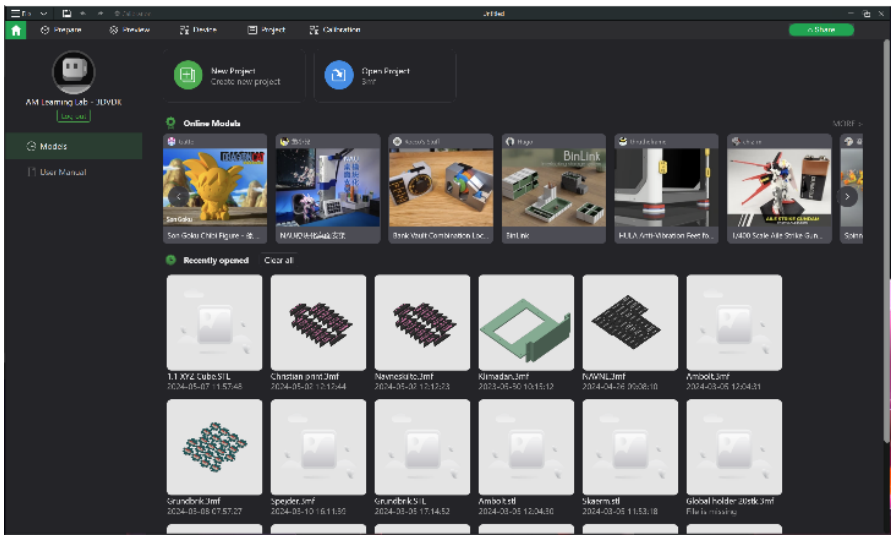
Byggeplademenuen:
Bruges til at arrangere 3D parter på byggepladen og til at "låse" deres positioner

© AM Learning Lab 2024.

Hovedmenuen:







Fanen Home:

"Home"-fanen i Bambu Studio fungerer som en central hub eller startskærm for brugeren af softwaren. "Home"-fanen omfatter følgende elementer:

Projektadgang: Direkte links til nyligt åbnede eller oprettede projekter, så brugere hurtigt kan fortsætte, hvor de slap, uden at skulle navigere gennem komplekse menuer.

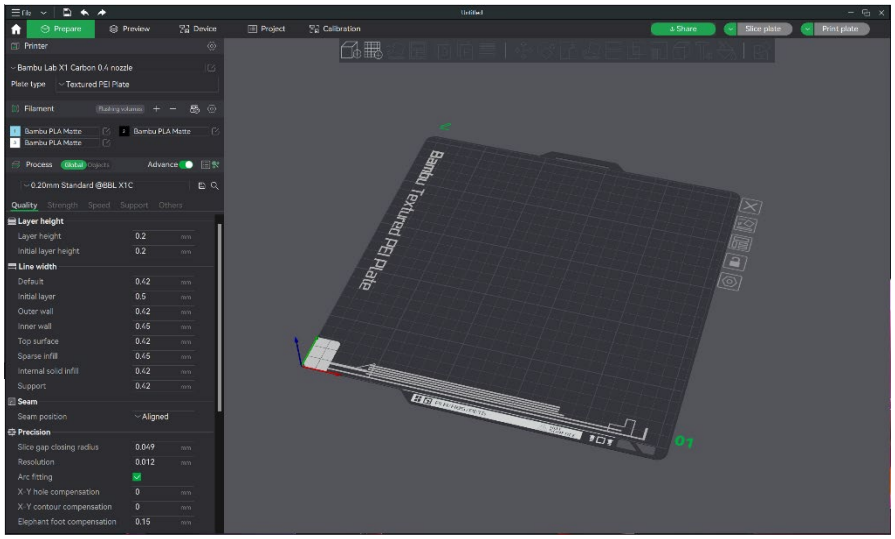
Hurtig start: Muligheder for at oprette nye projekter hurtigt direkte fra "Home"-fanen, hvilket effektiviserer arbejdsprocessen og reducerer tiden det tager at komme i gang med nye opgaver.

Læringsressourcer/User Manual: Links til tutorials, vejledninger, eller supportdokumenter, som kan hjælpe nye brugere med at komme i gang, eller tilbyde avancerede tips og tricks til mere erfarne brugere.

© AM Learning Lab 2024.

Prepare

Fanen Prepare



I denne fane finder I alt hvad I skal bruge for at klargøre en 3D part til 3D-print.

Udgangspunktet for alle 3D print, er at man starter med at vælge hvilken 3D printer model og byggeplade man vil anvende til opgaven.

Herefter importeres den eller de 3D part/-er som man gerne vil 3D printe. Når 3D parten er kommet ind på byggepladen skal den orienteres korrekt her på.

Når 3D parten er orienteret, kan arbejdet med at udvælge printparameter som Layer height, infill mv. starte. Når de ønskede parametre er valgt, trykkes der på Slice plate.

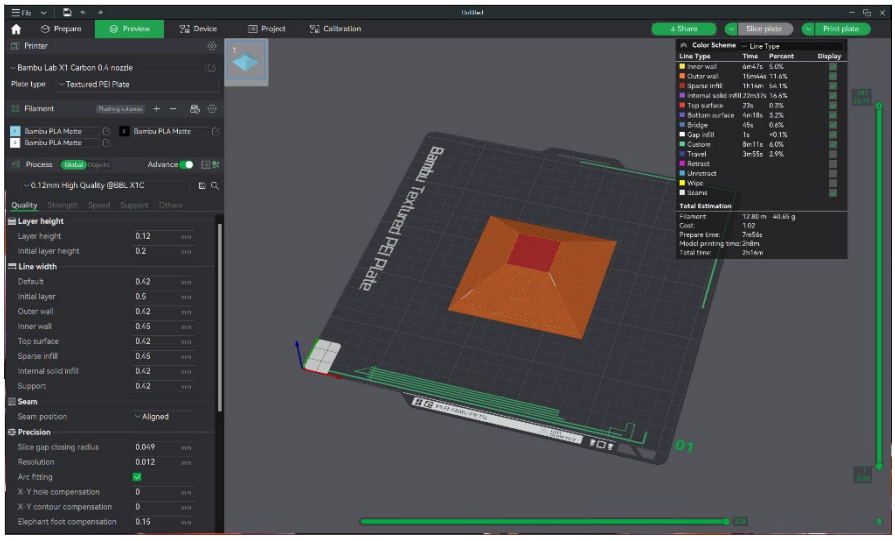
Bambu studio leder jer nu automatisk videre til næste step i klargøringen af 3D-print filen, som er Preview.

Få en dybere forklaring af de forskellige funktioner under fanen Prepare:

https://youtu.be/GLGs1rawe_

Preview

Fanen Preview



Denne fane er til for at give jer et overblik over forbruget af tid og filament i forbindelse med printet.

Preview gør det muligt at gennemgå alle layers, og dermed have det fulde overblik over hvad det er 3D printeren vil gøre, når først filen er sendt til 3D printeren.

© AM Learning Lab 2024.

Hvis alle filamentparametre er sat korrekt, vil man også kunne se kostprisen på forbruget af filament på det print man skal til at lave. Det er med til at gøre det nemmere for en, at beregne prisen for et givent print.

Hvis alt er som det skal være, trykkes der på Print plate. Bambu studio spørger nu hvilken enhed man vil 3D printe parten på. Den ønskede enhed vælges og der trykkes på send.

Bambu studio skifter nu videre til fanen Device.

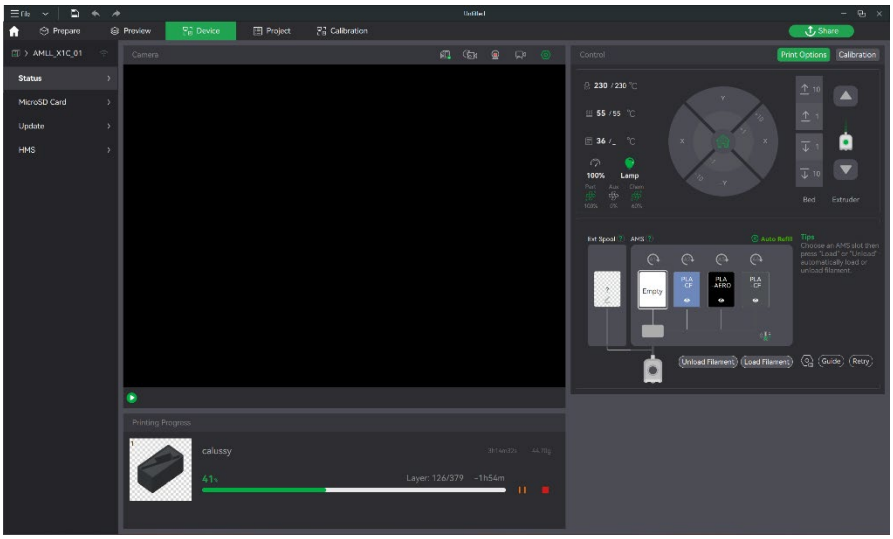
Få en dybere forklaring af fanen Preview:

https://youtu.be/73B8AyXCXYA

Device

Fanen Device

Denne fane er kun aktuel hvis man har Bambu Lab 3D printer og den er koblet op på netværk. Device giver brugeren mulighed for at til gå og styre 3D printeren via en cloudserver. Dette kan gøres uanset om man som bruger forbinder til cloudserveren via Bambu studio (PC og MAC) eller via Bambu Handy (smartphone/tablets).



Når forbindelsen til den ønskede enhed er opnået, kan man flytte 3D printerens akser, fremfører filament, tænde og slukke for lyset i 3D printeren, ændre temperaturindstillingerne på byggepladen og nozzlen, justere 3D printerens hastigheder og meget mere. Den vigtigste funktion som du finder under Device, er muligheden for at overvåge det aktuelle 3D print via 3D printerens indbyggede kamera.

Nogle 3D printere har i dag indbygget AI funktioner som gør det muligt for 3D printeren selv at detektere hvis der sker fejl undervejs i printet. F.eks. hvis printet slipper byggepladen eller hvis printeren laver "fuglereder", vil AI pause printet og sende en besked via Bambu Studio eller Bambu Handy, med oplysningen om hvad der formodes at være gået galt. Brugeren kan herefter forbinde sig til 3D printeren og se på kameraet om AI funktionen har ret eller ej, og derefter vælge om printet skal annulleres eller og printet kan forsættes. Den indbyggede AI funktion lære af hændelsen og er derfor endnu bedre næste gang en fejl forekommer.

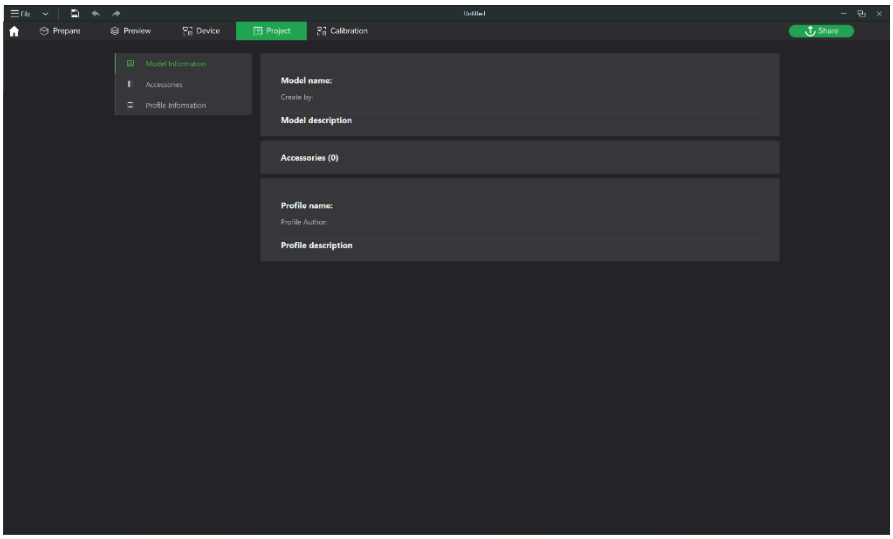
Få en dybere forklaring af fanen Device:

https://youtu.be/CdMdYY3kGKA

© AM Learning Lab 2024.

Project

Fanen Project

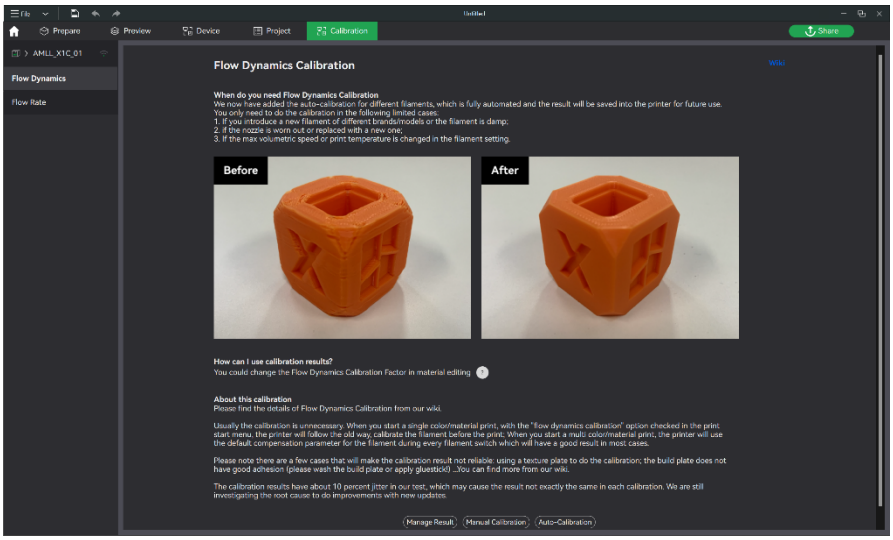


Project fanen har til det formål at man kan samle hele 3D printprojekter i en projektmappe. Indholdet i projektmappen beskrives nøje for derefter at kunne gemme projektet til senere brug eller for at dele projektet på makerworld.com (Bambu Labs community).

Project fanen og funktionerne her i, vil vi ikke gå mere i dybden med i dette kompendie.

Calibration

Fanen Calibration



Kvalitet er et efterspurgt produkt når der tales om 3D print. Producenterne af 3D printerne har lyttet til ønsket om bedre kvalitet og kommet med løsninger til hvordan det kan opnås. I langt de fleste tilfælde handler det om at kunne designe en part, så den egner sig til 3D print frem for subtraktiv, eller formativ manufacturing. Når designet er i orden, skal de sidste kvalitetsmæssige forbedringer ske kommen justering og kalibrering af 3D printeren. Bambu Lab har gennem Bambu Studio lavet nogle hjælperedskaber til at kalibrere 3D printeren så den performer optimalt. Selve kalibreringen vil vi ikke gå i dybden med nu, men vende tilbage til på side 98 i afsnittet om kalibrering og justering af 3D-printeren i dette kompendie

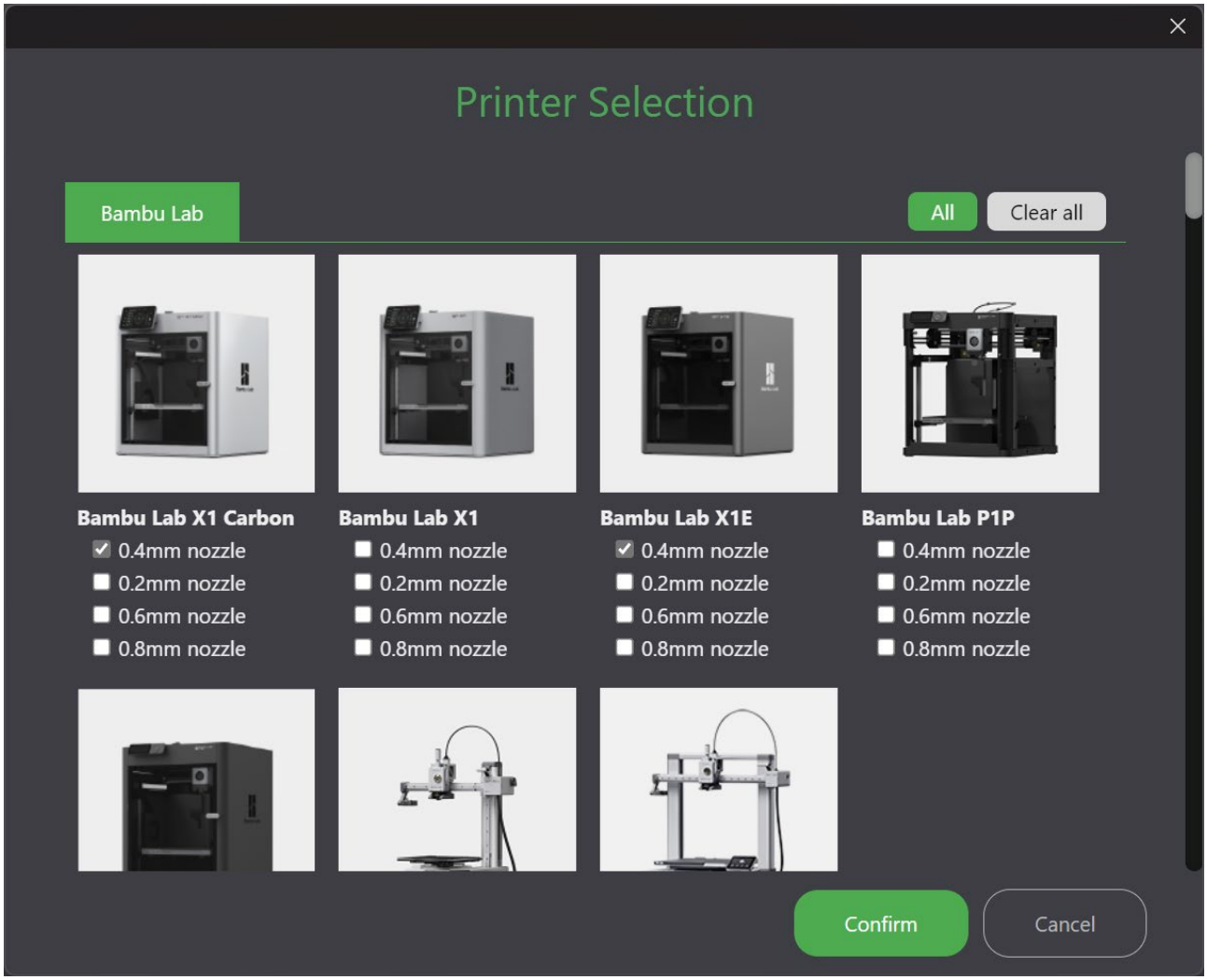
© AM Learning Lab 2024.

Opsætning af Printeren og Materialer:

I dette afsnit skal I igennem hvordan man tilføjer en 3D printer til Bambu Studio, samt hvordan man opretter materialeparametre. Der skal konfigureres en Bambu Lab X1 Carbon og opsættes materialeparametre for materialerne PLA, PA6 med kulfiber, PVA (Supportmateriale) og Compostable.

Opsætning af Bambu Lab X1 Carbon

Start med at åbne Bambu Studio og vælg fanen Prepare. Ud for feltet hvor der står Printer skal der klikkes på tandhjulet for at dialogen for tilføjelse af en ny 3D printer.



I dialogen Printer Selection sættes flueben i 0,4mm nozzle, og trykkes på Confirm.

Nu er konfigurationerne for Bambu Lab X1 Carbon indlæst i Bambu Studio.

Konfigurationsfilen indeholder alle de nødvendige oplysninger om 3D printeren og dens begrænsninger, så slicerprogrammet i dette tilfælde Bambu Studio kender til følgende:

- 3D printeren byggevolume
- Max. Nozzle temperatur
- Max. Heat Bed temperatur

© AM Learning Lab 2024.

- Max. Ekstruderingshastighed (Filament flow)
- Max. Printhastighed i X og Y akserne
- Max. Ildgangshastighed
- Oplysninger om køleblæsere
- Om der er mulighed for opvarmning af byggekammeret
- Om der er webcam
- Om der er en eller flere extruders
- Om der er materialestation
- G-kode for Machine start
- G-kode for Machine end
- G-kode for Printing by object
- G-kode for Layer change
- G-kode for filament skifte
- G-kode for Pause
- G-kode for Custom Template

Et G-kode (eller G-code) er et ISO-programmeringssprog, der bruges til at styre maskiner som 3D-printere og andre CNC-maskiner. G-kode er en slags instruktioner, der fortæller maskinen præcist, hvad den skal gøre for at udføre en opgave, såsom at printe en 3D-model.

For at forstå G-kode kan man sammenligne det med en opskrift, du følger i køkkenet. Ligesom en opskrift fortæller dig, hvilke ingredienser du skal bruge, og hvordan du skal tilberede dem, fortæller G-koden 3D-printeren, hvordan den skal bevæge sig, hvor meget materiale den skal bruge, og hvornår den skal gøre det.

Her er nogle grundlæggende ting, som en G-kode kan indeholde:

1. Bevægelser: Instruktioner om, hvordan printerens dyse skal bevæge sig i X, Y og Z retninger (de tre dimensioner). For eksempel:

   - `G1 X50 Y25 Z0.3` betyder, at dysen skal bevæge sig til positionen X=50, Y=25, Z=0.3.

2. Temperatur: Indstillinger for, hvilken temperatur dysen og printerens byggeplade skal have. For eksempel:

   - `M104 S200` sætter dysetemperaturen til 200 grader Celsius.

   - `M140 S60` sætter byggepladens temperatur til 60 grader Celsius.

3. Ekstrudering: Kontrol over, hvor meget filament (materiale) der skal presses ud af dysen. For eksempel:

   - `G1 E10` betyder, at der skal ekstruderes 10 mm filament.

4. Start og stop: Kommandoer, der starter eller stopper visse funktioner. For eksempel:

   - `M106` tænder for køleblæseren.

   - `M107` slukker for køleblæseren.

© AM Learning Lab 2024.

Her er et kort eksempel på en simpel G-kode:

```
G28 ; Home all axes
M104 S200 ; Set extruder temperature to 200°C
M140 S60 ; Set bed temperature to 60°C
G1 X0 Y0 Z0.2 F3000 ; Move to the starting point
G1 E10 ; Extrude 10 mm of filament
G1 X50 Y50 Z0.2 ; Move to X=50, Y=50 while keeping Z at 0.2
```

I denne G-kode:

- `G28` betyder, at printeren skal finde sin hjemposition (nulstilling af alle akser).

- `M104 S200` sætter dysetemperaturen til 200°C.

- `M140 S60` sætter byggepladens temperatur til 60°C.

- `G1 X0 Y0 Z0.2 F3000` bevæger dysen til startpunktet ved koordinaterne X=0, Y=0, Z=0.2 med en hastighed på 3000 mm/min.

- `G1 E10` ekstruderer 10 mm filament.

- `G1 X50 Y50 Z0.2` bevæger dysen til koordinaterne X=50, Y=50, mens Z forbliver på 0.2.

Så, G-kode er som en trin-for-trin manual, der fortæller 3D-printeren præcist, hvad den skal gøre for at skabe din model.

Hver enkelt 3D printer model har nogle unikke G-kode stykker som indlæses i konfigurationen af 3D printeren. Disse G-koder fortæller slicerprogrammet hvilke kommandoer den enkelte 3D printer model skal have for at starte/stoppe, pause osv.

Opsætning af materialer til Bambu Lab X1 Carbon

Udover maskinparametrene har slicerprogrammet også behov for at kende til materialeparametrene på de filamenter som man vil printe med. Hver plasttype har sin eget parametersæt, det har de fordi de forskellige plasttyper ikke har de samme egenskaber. Nogle plasttyper har et meget lavsmeltepunkt og kræver derfor ikke så høje temperaturer for at kunne printes med, andre plasttyper kræver højere temperaturer og er måske også mere let flydende og skal derfor have et parametersæt der er tilpasset til det.

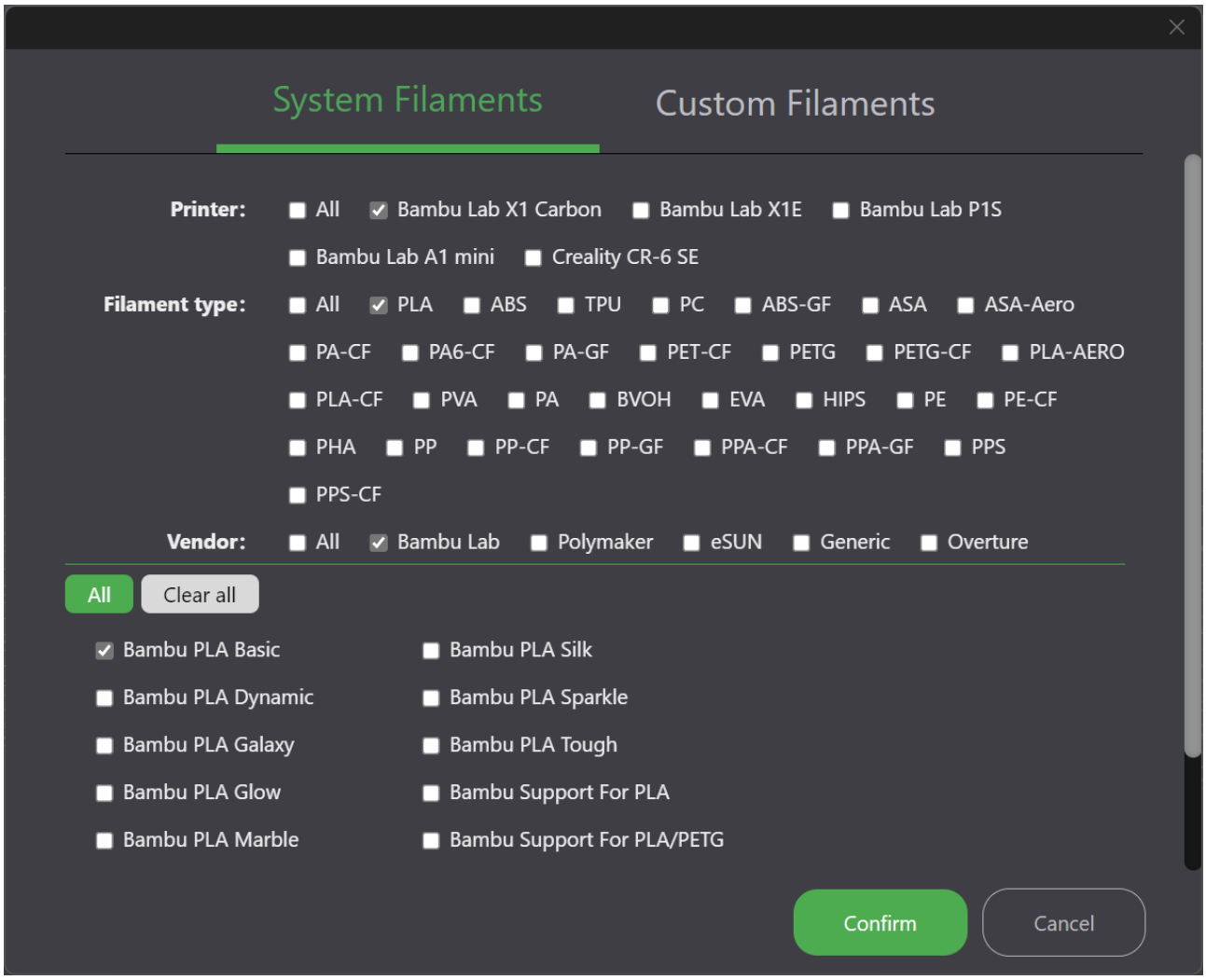
Flere af de anerkendte producenter af filament udbyder i dag deres materialeparameter direkte i gennem slicerprogrammet, så man ikke selv skal bruge tiden på at oprette et parametersæt for hver enkel plasttype. Her skal man blot klikke af inde i slicerprogrammet hvilke parametre man ønsker, skal fremgå af ens materialeliste. Køber man specialfremstillet filament eller filament fra en mindre kendt producent, vil man selv skulle ind og rette parametrene til inde i slicerprogrammet.

© AM Learning Lab 2024.

De fleste data man skal bruge for at oprette et parametersæt findes i materialernes TDS (Technical Data Sheet) resten er noget man justere sig frem til.

Materialeparameter ud fra Bambu Studios eget materiale bibliotek

Start med at åbne Bambu Studio og vælg fanen Prepare. Ud for feltet hvor der står Filament skal der klikkes på tandhjulet for at dialogen for tilføjelse af en ny materialeparameter.



Der skal tilføjes 3 materialetype i alt, og den første der skal tilføjes, er en Bambu PLA Basic. Materialeparameteren skal i dette tilfælde passe til en Bambu Lab X1 Carbon. Start med at sætte flueben i Bambu Lab X1 Carbon ud for Printer. I Filament type vælges PLA og i Vendor Bambu Lab. Nederst i skærmbilledet er udvalget nu indsnævret til de PLA-typer som Bambu Lab udbyder. Her vælges Bambu PLA Basic og efterfølgende trykkes på Confirm.

Gentag overstående for at tilføje Bambu PA6-CF og Bambu Support W (PVA)

© AM Learning Lab 2024.

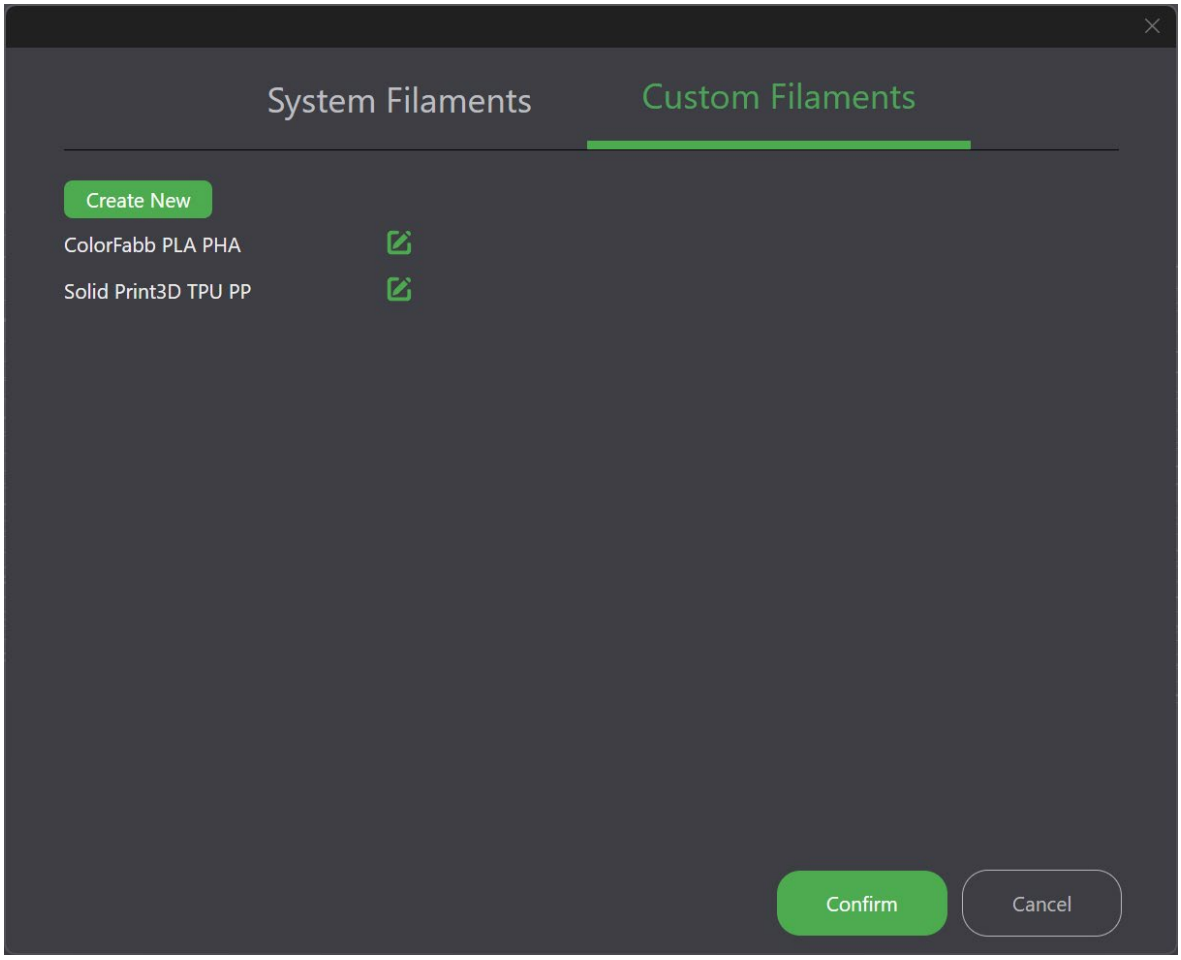
Materialeparameter ud fra Technical Data Sheet

I tilfælde hvor sliceprogrammet ikke indeholder de materialeparameter som man skal bruge, skal man selv i gang med indtastningsarbejdet. De dataer man i første omgang skal bruge findes i TDS (Technical Data Sheet) I skemaet herunder ses et udklip fra databladet på Basf Ultrafuse PLA:

Technical Data Sheet for Ultrafuse PLA Version No. 4.4

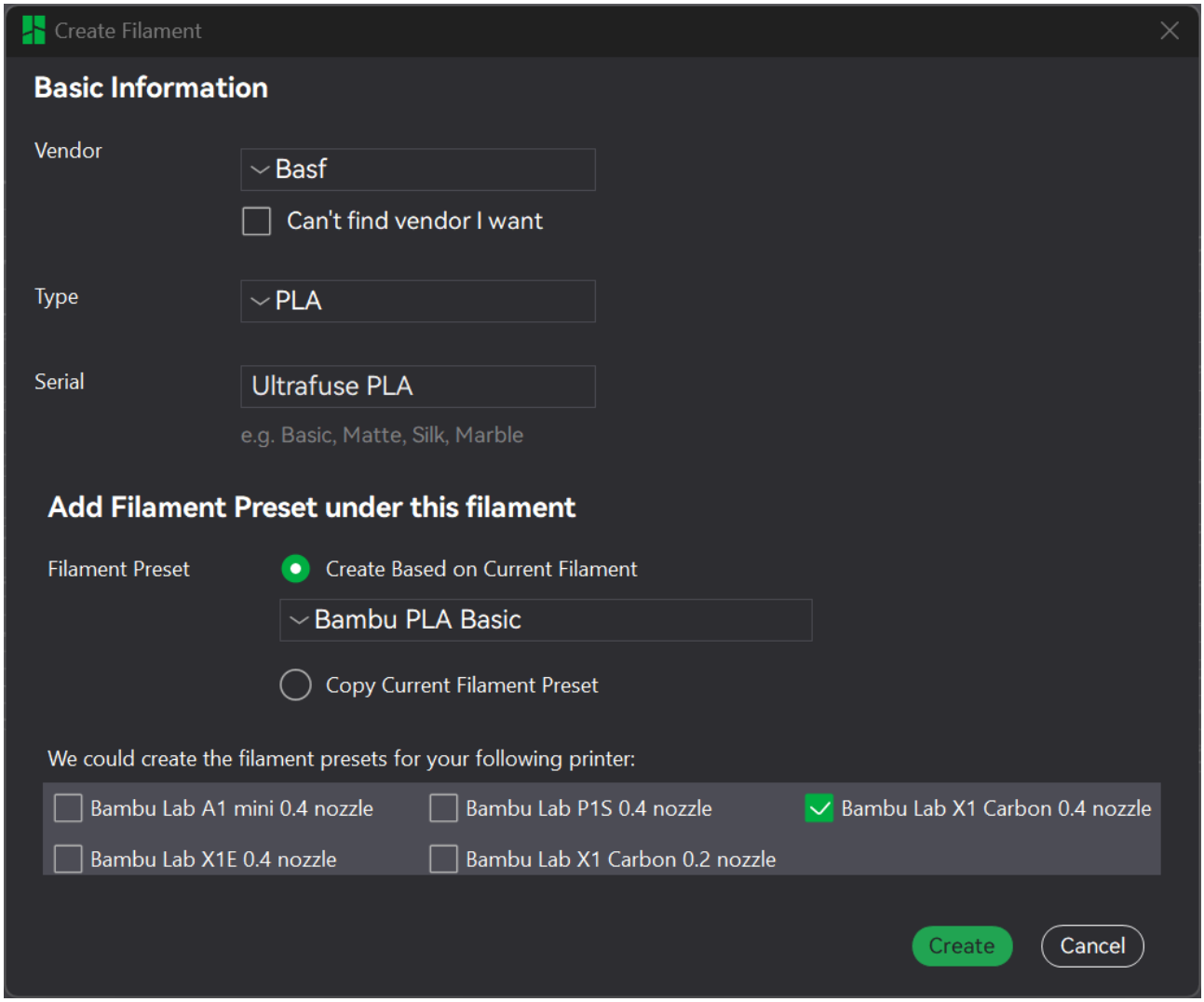
Recommended 3D-Print processing parameters	
Nozzle Temperature	210 – 230 °C / 410 – 446 °F
Build Chamber Temperature	-
Bed Temperature	50 – 70 °C / 122 – 158 °F
Bed Material	Glass
Nozzle Diameter	≥ 0.4 mm
Print Speed	40 - 80 mm/s

Start med at åbne Bambu Studio og vælg fanen Prepare. Ud for feltet hvor der står Filament skal der klikkes på tandhjulet for at dialogen for tilføjelse af en ny materialeparameter. Klik på Custom Filaments.

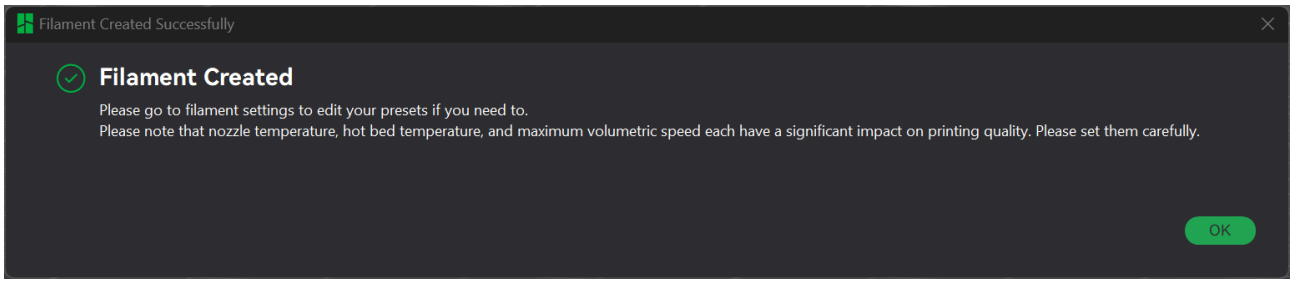


Klik på Create New.

© AM Learning Lab 2024.

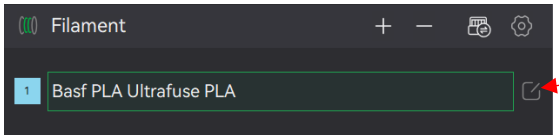


I Vendor sættes flueben i "Can't find vendor I want", efterfølgende indtastes Basf som vendor. I Type vælges PLA, og i Serial skrives Ultrafuse PLA (Samme navn som på TDS). Nu vælges et Filament Preset som der skal tages udgangspunkt i (Create Based on Current Filament) Vælg Bambu PLA Basic. For at kunne oprette materialeparameteret korrekt skal Bambu Studio også vide hvilken 3D printer og dyse størrelse som det er til. Vælg her Bambu Lab X1 Carbon 0.4 nozzle. Afslut indtastningen ved at klikke på Create.



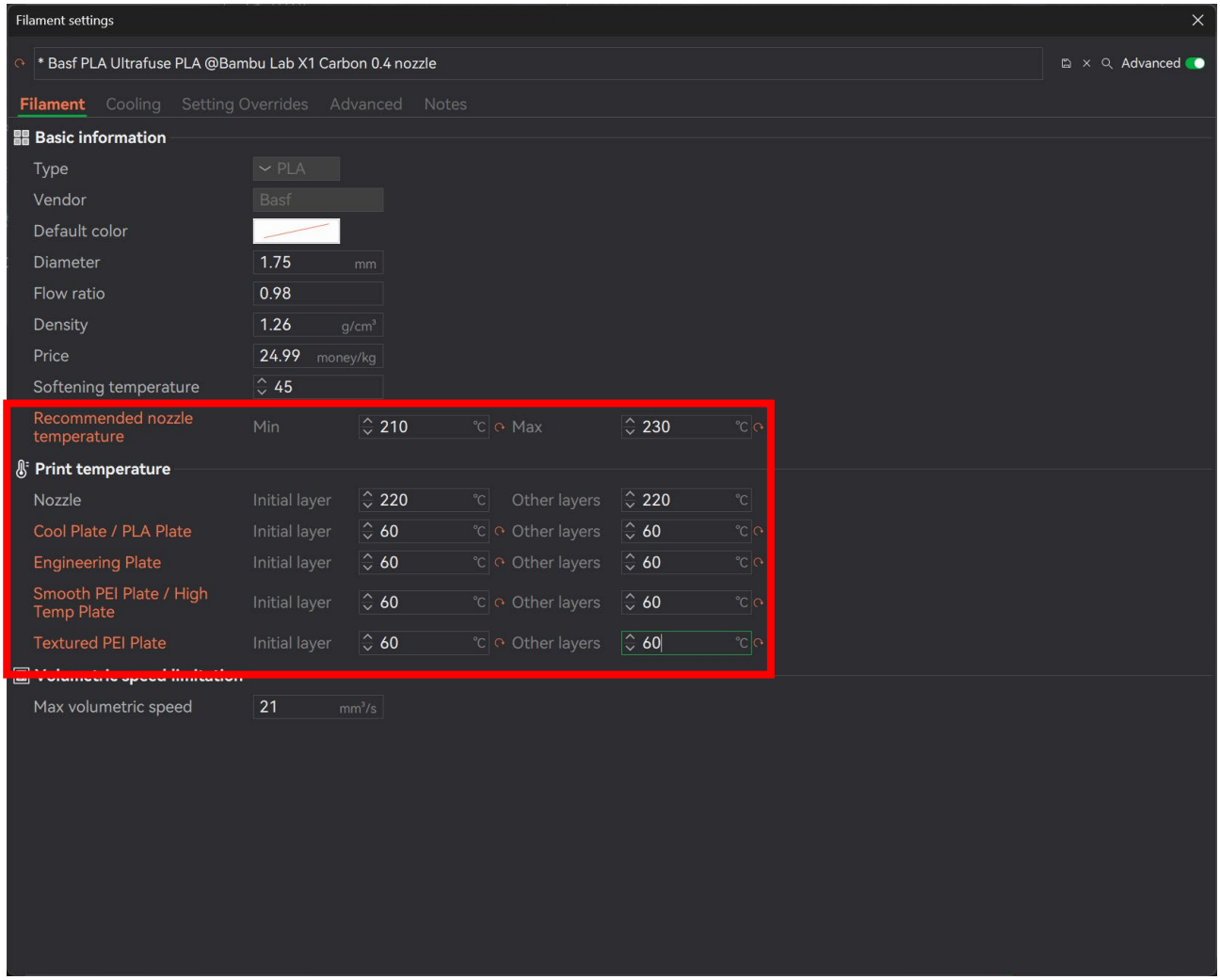
Bambu Studio har nu oprettet et parametersæt som skal tilrettes med de værdier som står i TDS. Tryk på ok.

© AM Learning Lab 2024.



Vælg Basf PLA Ultrafuse PLA i Filament og klik på editor ikonet.

Dialogen Filament setting åbner nu og de værdier vi kan aflæse af TDS rettes til.



I TDS oplyses af Nozzle temperatur skal være mellem 210° og 230° hvilket indtastes i Recommended nozzle temperature. Selve Nozzle temperaturen angives til 220° både i Initial layer og Other layers. Grunden til at vælge middel temperaturen her er, at det er et godt udgangspunkt for at finde ud af hvordan filamentet peformer. Peformer filamentet ikke optimal ved den givne temperatur, er det muligt at justere op eller ned efter behov.

Byggeplade temperaturen opgives til en temperatur mellem 50° og 70° og ligesom med nozzle temperatur, angives her middel temperaturen 60° ved alle fire byggeplade typer.

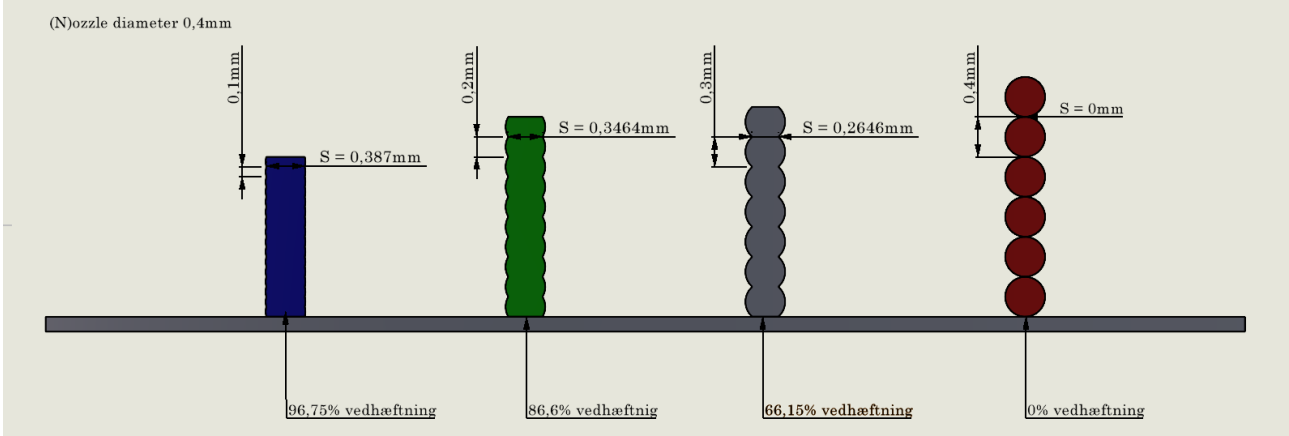
Det er de indstillinger som skal ændres ud fra TDS for det pågældende materiale. De resterende indstillinger som kan ændres vendes der tilbage til senere i kompendiet.

© AM Learning Lab 2024.

Layer heigths/Lagtykkelser:

Den største faktor for den totale printtid, overfladekvalitet og styrke i en 3D printet del er layer heigth eller lagtykkelse. Jo større lagtykkelse, jo færre lag, jo hurtigere kan delen 3D printes. Omvendt tager en del med en lav lagtykkelse længere tid at 3D printe. Eksemplet her kunne være at en del tager 30 minutter at 3D printe ved en lagtykkelse på 0,3mm. Samme del vil tage cirka 60 minutter at 3D printe ved en lagtykkelse på 0,2mm. Igen vil der være en fordobling i printtiden hvis lagtykkelsen blev sat ned fra 0,2mm til 0,1mm.

Overfladekvaliteten afspejles også i lagtykkelsen, jo større lagtykkelse, jo mere tydelig vil lagdelingerne fremtræde og overfladen vil virke grov. En lavere lagtykkelse vil ligeledes give en finere overflade og med en lagtykkelse nede omkring de 0,1mm vil lagdelingen være svær at se med blotte øje. Se illustrationen herunder.



Styrken i den 3D printede dels Z retning afhænger også af lagtykkelsen. Jo større lagtykkelse, jo mindre er vedhæftningen mellem lagene. Hvis man forestiller sig at plasten der kommer ud af nozzlen ikke er rund men firkantet, så ville to lag som er kommet ud af en nozzle med en brede på 0,4mm. have 100% vedhæftning. Men da nozzlen har en diameter på 0,4mm, vil den extruderede plast komme ud som en pølse hvilket vil give lag som ses på snitbilledet ovenfor. Det betyder også at valget af lagtykkelsen har en direkte konsekvens for vedhæftningen i lagskiftende på det printede emne. Lav vedhæftning = Lav styrke i Z retningen. Den procentvise vedhæftning kan beregnes med nedenstående formel.

Formel:

$$Vedhæftning\ i\ \% = \frac{Sammensmeltning\ i\ lagskiftet}{Nozzle\ diameter} \times 100$$

Eksempel:

$$96{,}75\% = \frac{0{,}387}{0{,}4} \times 100$$

Ved FDM/FFF-print vil lagskiftende altid være det svage led i det 3D printede produkt. Det skyldes at der sker en afkøling af det foregående lag af plast, inden det næste lag kommer på. Det vil sige at man forsøger at få flydende plast til at smelte sammen med et plast lag som ikke længere er flydende. Plastlagende kan med andre ord ikke fusionere, men vil være plastlag som tilnærmelsesvis er smeltet sammen.

© AM Learning Lab 2024.

Lagtykkelse vs. Nozzle diameter

Da der er en overhængende risiko for at vedhæftningen mellem lagende bliver for svag ved for store lagtykkelser, har man lavet en tommelfingerregel for hvor langt op man kan gå i lagtykkelse. En god tommelfingerregel er her at lagtykkelsen maksimal må være 75% af nozzle diameter. Hvis man har en 0,4mm nozzle er største lagtykkelse 0,3mm. Havde nozzle diameteren været 0,2mm, havde største lagtykkelse været 0,15mm.

Infill:

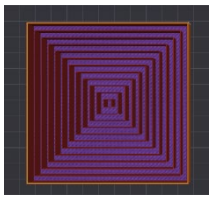
Infill er en afgørende del af FDM/FFF-print. Infill refererer til det indre mønster og tæthed af et 3D printet emne, som påvirker både dets styrke, vægt og printtid. For at kunne lave gode holdbare 3D print er det vigtigt at forstå, hvordan man justerer infill for at opnå de ønskede egenskaber i et færdigt produkt.

Infill er den indvendige struktur i et 3D-printet emne, som understøtter de ydre vægge (skal). Infill kan justeres med hensyn til mønster og densitet, og det har stor indflydelse på emnets mekaniske egenskaber. Bambu Studio, ligesom andre slicere, tilbyder en række indstillinger for infill, som vi vil gennemgå her.

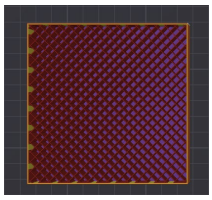
Infill pattern (mønster):

Der findes forskellige infill-mønstre, hver med unikke egenskaber:

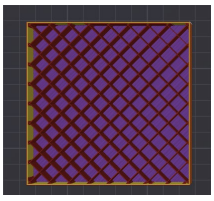
Concentric: Cirkulære mønstre, der følger objektets konturer. Godt til at reducere printtid og materiale.



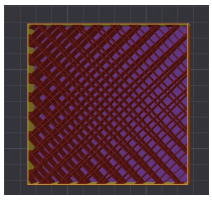
Rectilinear: Simpelt og hurtigt at printe, giver moderat styrke.



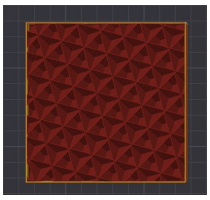
Grid: Et simpelt skakbrætmønster, der tilbyder en god balance mellem styrke og printtid.



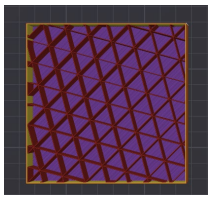
Line: Hurtig at printe, men tilbyder mindre styrke. Velegnet til dekorative eller lette objekter.



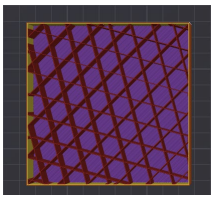
Cubic: Tilbyder god styrke og er let at printe, består af kubeformede strukturer.



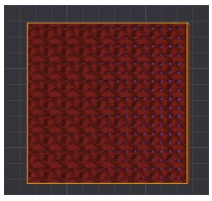
Triangles: Giver højere styrke og stabilitet på bekostning af længere printtid.



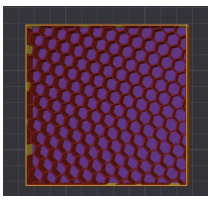
Tri-Hexagon: Kombinerer trekantede og sekskantede strukturer for ekstra styrke.



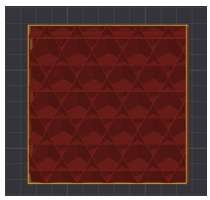
Gyroid: Et komplekst, organisk mønster, som giver høj styrke og fleksibilitet.



Honeycomb: Ligner en bikagestruktur, balancerer styrke og vægt godt.

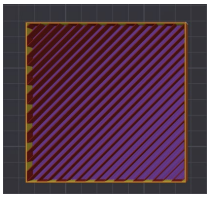


Adaptive Cubic: Ændrer tætheden af kubiske celler baseret på objektets geometri for optimal styrke og materialeudnyttelse.

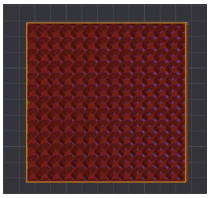


© AM Learning Lab 2024.

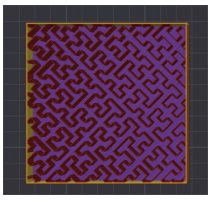
Aligned Rectilinear: En variation af rectilinear, hvor linjerne er justeret i bestemte retninger for øget styrke.



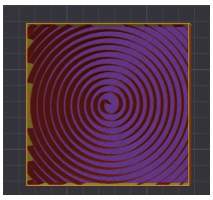
3D Honeycomb: En tredimensionel version af honeycomb, som giver ekstra styrke og stabilitet.



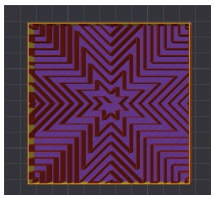
Hilbert Curve: Et komplekst mønster, der fylder rummet effektivt og kan reducere printtid.



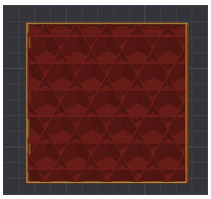
Archimedean Chords: Spiralformede mønstre, der følger en Archimedean spiral, giver unik styrke og fleksibilitet.



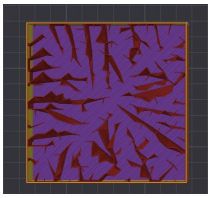
Octagram Spiral: Stjerneformede mønstre, der giver god styrke og æstetik.



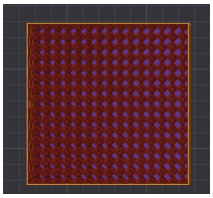
Support Cubic: Specielt designet til at fungere som støtte, men kan også bruges som infill for ekstra styrke.



Lightning: Et hurtigt og effektivt mønster, der kan reducere printtid og materiale.



Cross Hatch: Et tæt mønster, der tilbyder høj styrke og stabilitet.



Infill Density (Tæthed)

Infill-tætheden bestemmer, hvor meget af det indvendige volumen der fyldes med materiale. Dette måles i procent, hvor 0% er helt hul, og 100% er fuldt solidt.

- 0-20%: Anvendes til modeller og prototyper, hvor styrke ikke er kritisk.
- 20-40%: Velegnet til funktionelle dele, som kræver moderat styrke.
- 40-60%: Bruges til dele, der skal kunne modstå betydelige belastninger.
- 60-100%: Anvendes sjældent, da det drastisk øger printtiden og materialeforbruget, men nødvendigt for ekstrem styrke. Samtidigt er der hvis man kommer over 70-80% infill en risiko for at man får gjort ens emne for stift, og at den derved manglende fleksibilitet kan være medvirkende til at emnet nedbrydes hurtigere hvis det udsættes for stres fulde belastninger.

Når man skal vælge infill-mønster og densitet, så bør man overveje følgende faktorer:

1. Anvendelsesområde: Skal delen bære en last? Er vægten kritisk?

2. Materiale: PLA, ABS og andre materialer har forskellige styrker og fleksibilitet.

3. Printtid og Materialeforbrug: Højere infill-tæthed øger printtid og materialeforbrug.

© AM Learning Lab 2024.

Praktiske Eksempler

- Dekorative Objekter: Anvend 10-20% infill med et lines eller grid mønster for hurtig printtid og lavt materialeforbrug.
- Funktionelle Prototyper: Brug 30-50% infill med honeycomb eller cubic mønster for en god balance mellem styrke og vægt.
- Mekaniske Dele: Vælg 50-80% infill med et triangulært eller gyroid mønster for maksimal styrke.

Forståelse og justering af infill er essentielt for at optimere 3D-print. Ved at vælge det rette mønster og densitet kan du opnå den ønskede balance mellem styrke, vægt og printtid, hvilket er afgørende for at producere både funktionelle og effektive emner.

Perimeter

Perimeter, Top-Bottom og Wall Shells

Ud over lagtykkelser er perimeter, top-bottom shells og wall shells væsentlige faktorer, der spiller en stor rolle i printkvaliteten og styrken af det færdige produkt.

Perimeter refererer til de yderste lag af printet, der definerer dets ydre kontur. Perimetre er kritiske for at sikre den dimensionelle nøjagtighed og overfladefinish. Et typisk FDM-print består af flere perimetre, som kan justeres i slicer-softwaren.

Fordele ved flere perimetre:

- Styrke og holdbarhed: Flere perimetre kan øge styrken af printet, især i den ydre skal.
- Bedre overfladefinish: Flere perimetre giver en glattere ydre overflade, hvilket kan være vigtigt for æstetiske eller funktionelle formål.

Ulemper:

- Printtid: Flere perimetre kan øge den samlede printtid.
- Materialeforbrug: Der bruges mere filament, hvilket kan øge omkostningerne.

Top-Bottom shells

Top- og bottom-shells refererer til de første og sidste lag af printet, der danner de solide flader på henholdsvis toppen og bunden. Antallet af disse lag kan justeres for at optimere printets kvalitet, styrke og funktionalitet. Hvis man indstiller slicer-softwaren til at lave 1 Top eller Bottom shells svare det til 1 x lagtykkelsen. Indstiller man den til at være 3 shells, vil det ved en lagtykkelse på 0,2mm svare til en skal på 0,6mm. Jo tykkere Top eller Bottom shells, jo større belastning kan overfladen klare før den brister

Wall Shells

Wall shells, også kendt som tykkelsen på den vertikale skal, refererer til de vertikale lag, der udgør væggene af printet. Disse lag kan justeres for at optimere styrke, vægt og printtid. Tykkelsen på en Wall shell svare til diameteren på dysen/nozzle, det vil sige at en Wall shell vil med en 0,4mm dyse være 0,4mm i tykkelsen. 3 Wall shells vil således være 1,2mm i tykkelsen.

© AM Learning Lab 2024.

Ønsker man at det emne som man 3D-printer har den samme perimeter tykkelse på alle sider, skal man i gang med at regne på hvor mange Top, Bottom og Wall shells der skal til for at det giver det samme.

Eksempel:

Vi skal printe et emne hvor kunden ønsker at der skal være en perimeter på 2mm på alle emnet sider. Vores nozzle er 0,4mm. Så tages de 2mm og divideres med 0,4mm det giver 5, hvilket er værdien for antallet af Wall shells.

Vi printer med en lagtykkelse på 0,2mm og på samme vis divideres de 2mm her med lagtykkelsen. Det giver en værdi på 10 som herefter kan indtastes under Top og Bottom Shell.

Support

Supportstrukturer er afgørende for succesfuld 3D-print af komplekse geometrier og overhængende dele. De giver midlertidig støtte til de dele af en model, der ellers ville hænge frit i luften under printprocessen.

Hvornår og Hvorfor er Support nødvendigt?
Supportstrukturer er nødvendige, når en model har:

- Overhængende Dele: Sektioner af modellen, der hænger ud over et underliggende lag i en vinkel større end printerens maksimale overhængsvinkel, typisk omkring 45 grader.
- Broer: Vandrette sektioner, der strækker sig mellem to punkter uden understøttelse nedenunder.
- Komplekse Geometrier: Modeller med indre hulrum, buer eller detaljerede udsmykninger, der kræver ekstra støtte under printprocessen.

Supportstrukturer sikrer, at disse sektioner printes korrekt uden deformation eller kollaps, hvilket er afgørende for at opnå den ønskede kvalitet og styrke i den færdige del.

Optimering af Supportstrukturer
For at opnå den bedste balance mellem støtte og fjernelse af supportmateriale er det vigtigt at optimere supportstrukturerne:

- Placering og Mængde: Brug så få supportstrukturer som nødvendigt for at minimere efterbehandling. Placer dem strategisk under kritiske overhæng og broer.
- Tæthed og Mønster: Juster supporttætheden for at give tilstrækkelig støtte uden at bruge unødvendigt meget materiale. Vælg det rigtige supportmønster for nem fjernelse.
- Materialevalg: Brug PVA (Polyvinyl Alcohol) som et vandopløseligt supportmateriale til komplekse geometrier og overhæng, der ellers ville være vanskelige at fjerne med traditionelle supportstrukturer.

Brugen af PVA som Supportmateriale
PVA er et vandopløseligt materiale, der er ideelt som support til komplekse og svært tilgængelige områder. Fordele ved PVA inkluderer:

- Nem Fjernelse: PVA opløses i vand, hvilket gør det nemt at fjerne uden at beskadige den primære model.
- Ideelt til Komplekse Geometrier: Perfekt til indre hulrum og detaljerede strukturer, hvor mekanisk fjernelse ville være umulig eller risikabel.

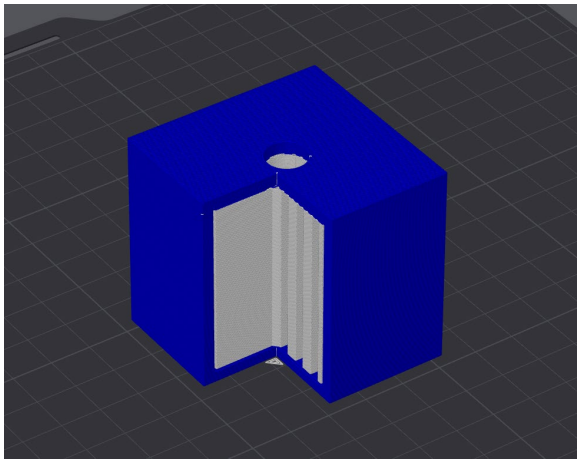
Forbedret Overfladekvalitet: Ved at bruge PVA kan man opnå en glattere overfladefinish på de dele, der ellers ville have haft supportmærker.

© AM Learning Lab 2024.

Supporttyper og Styles i Bambu Studio
Bambu Studio tilbyder forskellige typer og styles af supportstrukturer for at imødekomme forskellige printbehov:

Normal Auto:

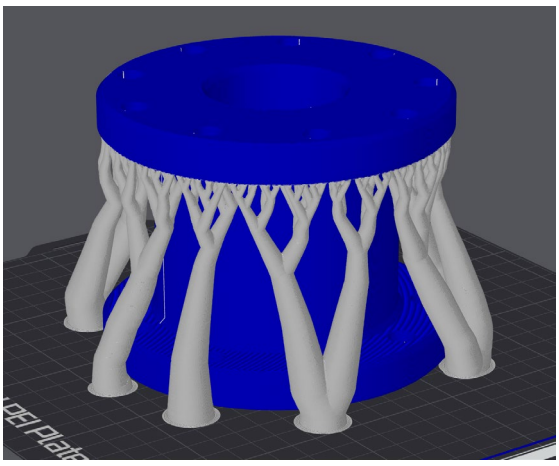
- Grid: Et standardmønster, der tilbyder en god balance mellem styrke og nem fjernelse.
- Snug: Tættere og mere robust end grid, ideel til små og detaljerede områder.



Figur 31 - eksempel på et emne med indvendig support. I toppen ses et drænhul til at få det vandopløselige materiale (PVA) ud.

Tree Auto:

- Tree Slim: Slankere træstrukturer, der giver støtte med minimal materialebrug.
- Tree Strong: Robust træstruktur for maksimal støtte, ideel til tunge overhæng.
- Tree Hybrid: Kombinerer slim og strong for optimal støtte og materialebesparelse.
- Tree Organic: Organisk formede træstrukturer, der følger modellens konturer og reducerer materialeforbrug.



Figur 32- Rørflange understøttet med tree support

Normal Manuel:

- Grid: Bruges når manuel kontrol er nødvendig, giver en god balance mellem styrke og fjernelse.
- Snug: Bruges til manuel placering for detaljerede og små områder, giver robust støtte.

© AM Learning Lab 2024.

Tree Manuel:

- Tree Slim: Manuel kontrol over slanke træstrukturer, reducerer materialeforbrug.
- Tree Strong: Manuel placering af robuste træstrukturer, ideel til tunge overhæng.
- Tree Hybrid: Manuel kontrol over hybridstrukturer for optimal støtte og besparelse.
- Tree Organic: Manuel placering af organisk formede træstrukturer for bedste tilpasning til modellen.

Effektiv brug og optimering af supportstrukturer er afgørende for at producere kvalitets 3D-print med komplekse geometrier. Ved at vælge de rette supporttyper og materialer som PVA kan man sikre, at modellerne printes korrekt og med minimal efterbehandling. Forståelse for hvornår og hvordan man bruger forskellige supportstrukturer vil forbedre kvaliteten og effektiviteten af jeres 3D-printprojekter.

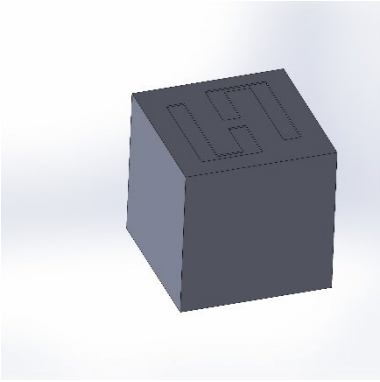
Opgaver:

Der skal printes 5 simple konstruktioner hvor det eneste operatøren skal tænke på i første omgang er orienteringen af emnerne på 3D printerens byggeplade, samt om der er behov for brug af support i forbindelse med printet.

Alle emner skal printes i PLA, med en lagtykkelse på 0,2mm og Infill på 15%. Infill pattern skal være Gyroid.

Opgave 2-1:

Importer opgaven i slicer programmet, vend og drej emnet for at se hvordan emnet er opbygget og hvilke udfordringer der kan være i forbindelse med at få emnet korrekt placeret på byggepladen. Hav DfAM i tankerne når printorienteringen besluttes.



Hvilken udfordring er der i forbindelse med print af emnet?

_____

_____

Er der behov for support? _____

Efter print:

Emnet er designet til at skulle måle 50x50x50mm. Hvad måler emnet efter print?

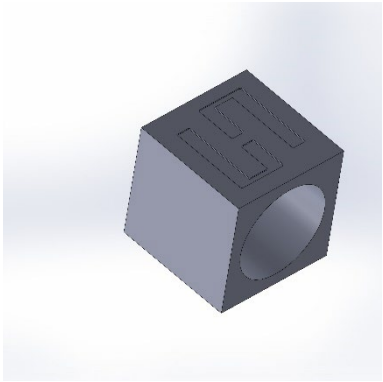
X:_____

Y:_____

Z:_____

© AM Learning Lab 2024.

Opgave 2-2:



Importer opgaven i slicer programmet, vend og drej emnet for at se hvordan emnet er opbygget og hvilke udfordringer der kan være i forbindelse med at få emnet korrekt placeret på byggepladen. Hav DfAM i tankerne når printorienteringen besluttes.

Hvilken udfordring er der i forbindelse med print af emnet?

_____

_____

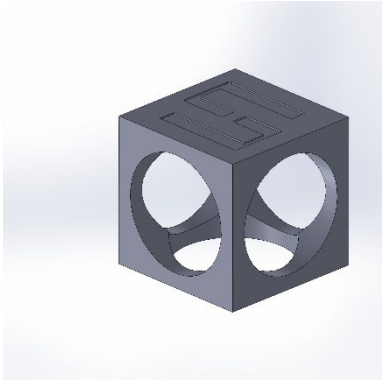
Er der behov for support? _____

Efter print:

Hullets diameter er designet til at være ø40mm, hvad er den printede diameter? (Mål med 3 pkt. mikrometer):_____

Prøv evt. at printe emnet igen med andre parameter på shell og infill og se hvad det har af betydning for diameteren.

Opgave 2-3:



Importer opgaven i slicer programmet, vend og drej emnet for at se hvordan emnet er opbygget og hvilke udfordringer der kan være i forbindelse med at få emnet korrekt placeret på byggepladen. Hav DfAM i tankerne når printorienteringen besluttes.

Hvilken udfordring er der i forbindelse med print af emnet?

_____

_____

Er der behov for support? _____

Efter print:

Hullernes diameter er designet til at være ø40mm, hvad er hullernes diameter efter print? (Mål med 3 pkt. mikrometer)

X:_____

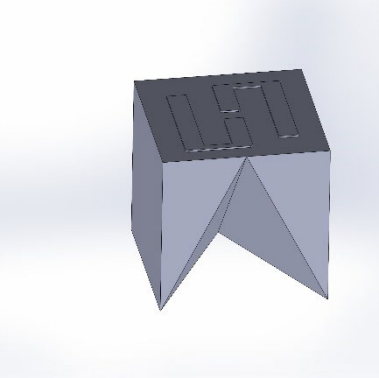
Y:_____

Z:_____

© AM Learning Lab 2024.

Opgave 2-4:

Importer opgaven i slicer programmet, vend og drej emnet for at se hvordan emnet er opbygget og hvilke udfordringer der kan være i forbindelse med at få emnet korrekt placeret på byggepladen. Hav DfAM i tankerne når printorienteringen besluttes.



Hvilken udfordring er der i forbindelse med print af emnet?

_____

_____

Er der behov for support? _____

Efter print:

Er der formfejl på printet, og hvad kunne det skyldes?:

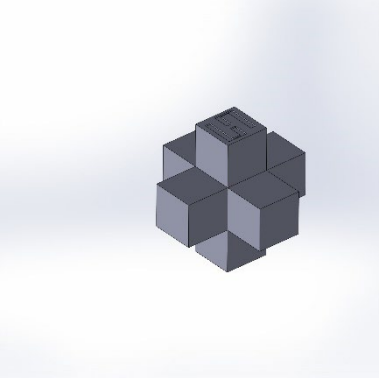
_____

_____

_____

Opgave 2-5:

Importer opgaven i slicer programmet, vend og drej emnet for at se hvordan emnet er opbygget og hvilke udfordringer der kan være i forbindelse med at få emnet korrekt placeret på byggepladen.



Hvilken udfordring er der i forbindelse med print af emnet?

_____

_____

Er der behov for support? _____

Efter print:

Hvordan er overfladerne på emnet, er der nogle steder hvor overfladekvaliteten er ringe. Kan emnet orienteres på en måde så alle overflader har den bedst mulige kvalitet?

_____

_____

_____

_____

Print emnet igen med en ny orientering. Var det en bedre løsning?

_____

© AM Learning Lab 2024.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel har I lært om slicer-softwaren Bambu Studio, som er udviklet af Bambu Lab. Softwaren er specielt designet til Bambu Labs 3D-printere, men kan også bruges med andre 3D-printere. Vi har gennemgået brugergrænsefladen, hvordan man opsætter printere og materialer, samt hvordan man slicer 3D-dele til print.

Opsætning af printere og materialer

I har lært at konfigurere en Bambu Lab X1 Carbon printer og opsætte materialeparametre for forskellige filamenter. I har også lært at oprette nye materialeparametre ud fra Technical Data Sheets (TDS).

Printparametre

Vi har gennemgået forskellige faktorer, der påvirker printkvaliteten, som lagtykkelse, infill, perimeter, top-bottom shells, wall shells, og supportstrukturer. I har lært om:

- Lagtykkelse: Påvirker printtid, overfladekvalitet, og styrke.
- Infill: Mønstre og tæthed for at optimere styrke og vægt.
- Perimeter, Top-Bottom og Wall Shells:** Justering for at forbedre printkvaliteten og styrke.
- Support: Brug og optimering af supportstrukturer, inklusive vandopløseligt PVA-materiale, for at sikre korrekt print af komplekse geometrier.

Med denne viden har I nu en grundlæggende forståelse af et slicer-software og de nødvendige trin til at forberede jeres 3D-print, herunder valg og justering af printparametre for at opnå et godt resultat.

03- Design for Additive Manufacturing

Introduktion til Design for Additive Manufacturing (DfAM):

Design for Additive Manufacturing (DfAM) er en tilgang til produktdesign, der udnytter de unikke fordele ved additive fremstillingsteknologier såsom 3D-printning. DfAM adskiller sig fra traditionelle designmetoder ved at fokusere på optimering af dele til produktion ved hjælp af 3D-printere, som f.eks FDM-printere, for at reducere materialeforbrug, vægt og produktionsomkostninger samt for at muliggøre komplekse geometrier.

DfAM handler ligeledes om at kende til de forskellige 3D printteknologiers muligheder og begrænsninger, forstår man dem korrekt muliggør det at man kan fremstille yderst komplekse produkter som ikke ville være økonomisk og teknisk muligt med traditionelle fremstillingsteknologier som CNC-maskiner eller ved sprøjtestøbning.

Grundlæggende DfAM-principper

Minimalt Materialeforbrug

En af de mest markante fordele ved 3D-printning er muligheden for at minimere materialespild. Traditionelle fremstillingsmetoder som CNC-fræsning og støbning involverer ofte fjernelse af materiale fra

© AM Learning Lab 2024.

en større blok, hvilket fører til betydeligt spild. Med DfAM kan designere skabe hule strukturer, anvende lette materialer og indarbejde interne geometriske former for at reducere materialeforbrug og vægt uden at gå på kompromis med styrken.

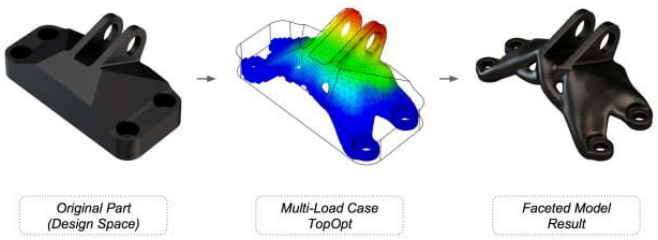
Produktion af Komplekse Geometrier

3D-printning gør det muligt at producere komplekse geometrier, der ikke er mulige med traditionelle fremstillingsmetoder. Dette inkluderer:

- Interne Kanaler og Hulrum: Design af indre strukturer til vægtreduktion eller specifikke funktioner som væskekøling.
- Organiske Former: Anvendelse af biometriske designs, der efterligner naturlige strukturer for optimal ydeevne.
- Funktionelle Integrerede Dele: Skabelse af komplekse samlinger og bevægelige dele i én printproces.

Topologioptimering

Topologioptimering er en designteknik, der anvender matematiske algoritmer til at fordele materiale kun hvor det er nødvendigt for at opfylde bestemte belastningskrav. Denne tilgang kan betydeligt reducere vægten af komponenter, hvilket er særligt fordelagtigt i industrier som luftfart og bilproduktion. For at kunne anvende topologioptimering korrekt, kræver det at man har et dybdegående kendskab til belastninger, materialernes egenskaber og har de forudsætningerne for at kunne verificere resultatet af topologioptimeringen, så det resultat man kommer frem til, også er sikkerhedsmæssigt forsvarligt at bruge. Derfor er topologioptimering også et område som kræver en form for ingeniøruddannelse f.eks. maskiningeniør for at kunne udføre og efterkalkulere topologioptimeringen korrekt.



Figur 33 - Illustrationen viser transformeringen fra originalt emne til topologioptimeret emne (Illustration: Courtesy of Frustum)

Modularitet og Customization

DfAM muliggør design af modulære dele, der kan samles på forskellige måder for at skabe skræddersyede løsninger. Dette gør det lettere at opgradere eller reparere dele, da individuelle moduler kan udskiftes uden behov for at fremstille en helt ny del.

Reduktion af Samlinger

Ved at designe komponenter, der kan printes som en enkelt enhed, kan behovet for samlinger og fastgørelsesmidler reduceres. Dette fører til stærkere og mere pålidelige dele samt reducerede samleomkostninger.

© AM Learning Lab 2024.

Design til Letvægtsstrukturer

Ved at bruge infill-mønstre effektivt kan man designe letvægtsstrukturer, der stadig opretholder nødvendig styrke. Dette er ideelt til applikationer, hvor vægt er en kritisk faktor, såsom i transportsektoren.

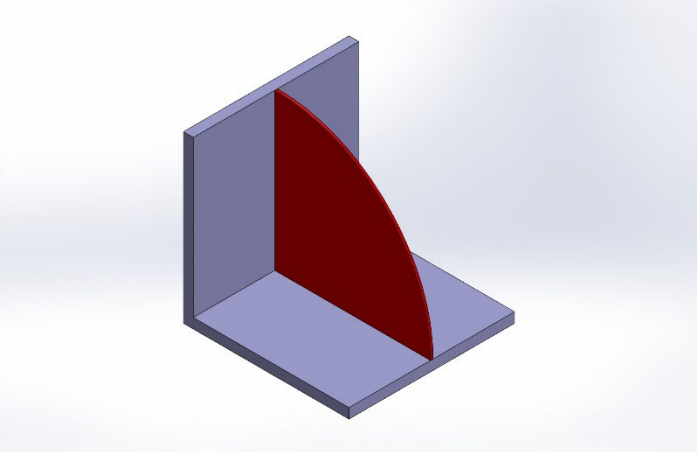
DfAM-principper og guidelines

- Iteration og Prototyping: Hurtig iteration og test af forskellige design er muligt med 3D-printning, hvilket fremskynder udviklingsprocessen.
- Design for Manufacturability: Ved at forstå printerens kapabiliteter og begrænsninger kan design optimeres til lettere og mere præcis fremstilling.
- Anvendelse af Simulationssoftware: Software til simulering af belastninger og printprocesser kan bruges til at forudsige og forbedre performance af 3D-printede dele.

Design guidelines til FDM print.

Supported Walls

Supported walls refererer til vægge i en 3D-printet struktur, som er understøttet af andre dele af modellen eller omkringliggende geometrier. Disse vægge drager fordel af at være forbundet til andre elementer, hvilket giver dem ekstra stabilitet og styrke under printprocessen. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at forstå, hvordan man bedst designer supported walls for at maksimere deres strukturelle integritet og minimere materialeforbrug.



Designovervejelser for Supported Walls:

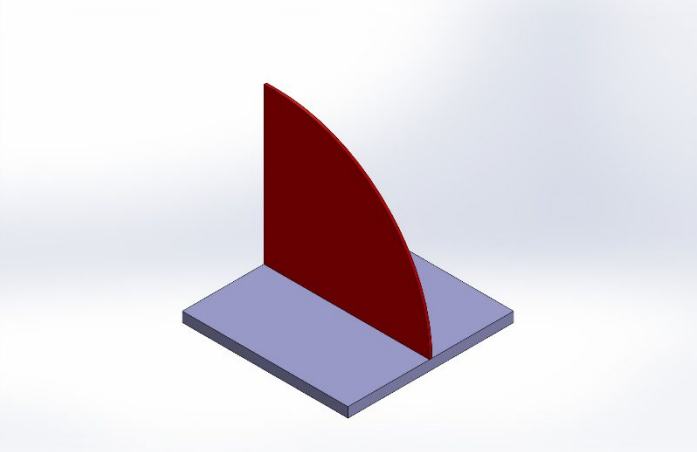
- Integritet og Forbindelser: Sørg for, at supported walls er ordentligt forbundet til andre strukturer i modellen. Forbindelserne skal være stærke nok til at støtte væggen og forhindre, at den bevæger sig eller deformeres under printning.
- Vægtykkelse: Juster vægtykkelsen for at balancere mellem styrke og materialeforbrug. Supported walls kan ofte være tyndere end unsupported walls, fordi de får ekstra støtte fra omkringliggende geometrier.
- Forstærkninger: Overvej at tilføje ribber, afstivninger eller andre forstærkningselementer, der kan yderligere styrke supported walls. Dette er især nyttigt i områder, hvor væggene er udsat for mekanisk belastning eller vibrationer.
- Printorientering: Vælg en printorientering, der maksimerer stabiliteten af supported walls. Ved at orientere modellen korrekt kan man reducere behovet for yderligere supports og sikre, at væggene printes med optimal styrke.
- Materialevalg: Brug materialer, der har gode mekaniske egenskaber og god vedhæftning mellem lagene for at sikre, at supported walls er stærke og holdbare. Materialer med højere stivhed og god lagvedhæftning er ideelle.

Minimum tykkelse af Supported Walls ved FDM-print er 0,8mm (2 x nozzle diameter)

© AM Learning Lab 2024.

Unsupported Walls

Unsupported walls refererer til enkeltstående vægge i en 3D-printet struktur, som ikke støder op mod andre dele eller vægge. Disse vægge står alene uden støtte fra omkringliggende geometrier og kan derfor være udfordrende at printe korrekt. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at designe unsupported walls med omtanke for at undgå problemer som deformation, warping eller svigt under printprocessen.



Designovervejelser for Unsupported Walls:

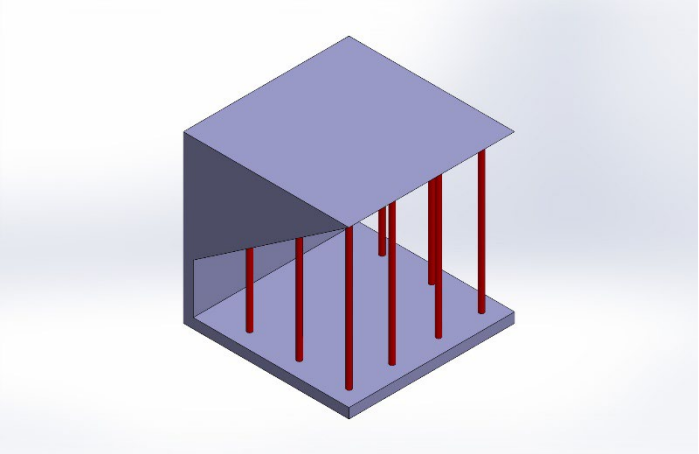
- Vægtykkelse: Sørg for, at vægtykkelsen er tilstrækkelig til at opretholde strukturel integritet. For tynde vægge kan bøje eller svigte, mens for tykke vægge kan føre til unødvendigt materialeforbrug og længere printtid.
- Højde til Bredde Ratio: Hold øje med forholdet mellem væggens højde og bredde. Høje og smalle vægge er mere tilbøjelige til at vippe eller bøje under printning, især hvis de er meget høje i forhold til deres bredde.
- Materialevalg: Vælg materialer, der har tilstrækkelig styrke og vedhæftning mellem lagene for at sikre, at unsupported walls forbliver stabile. Materialer med højere stivhed og lavere krympning er ofte bedre egnet til unsupported walls.
- Printparametre: Juster printparametre som printtemperatur, hastighed og køling for at optimere kvaliteten af unsupported walls. Lavere printtemperatur og reduceret print-hastighed kan hjælpe med at minimere warping og forbedre vægstabiliteten.
- Brug af Fillets og Chamfers: Integrer fillets og chamfers ved bunden af væggene for at forbedre vedhæftningen til printbedet og reducere risikoen for delaminering.

Minimum tykkelse af Unsupported Walls ved FDM-print er 0,8mm (2 x nozzle diameter)

© AM Learning Lab 2024.

Support & Overhangs

Supportstrukturer og overhæng er afgørende aspekter inden for Design for Additive Manufacturing (DfAM). Overhæng refererer til dele af en model, der strækker sig ud over det underliggende lag uden direkte støtte, hvilket kan resultere i dårlig printkvalitet eller printfejl. For at sikre en vellykket printproces og høj kvalitet på de færdige dele, er det nødvendigt at bruge supportstrukturer til at understøtte disse overhæng under printningen.



Designovervejelser for Support & Overhangs:

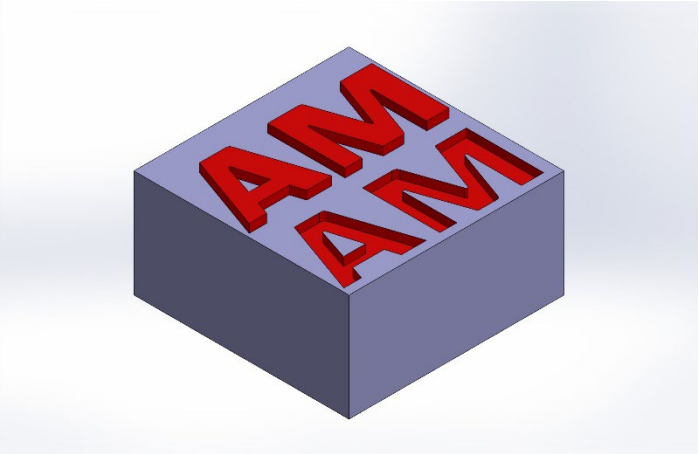
- Supportstrukturer: Tilføj supportstrukturer til områder med betydelige overhæng (normalt over 45 grader) for at forhindre, at materialet falder sammen eller deformeres under printning.
- Optimering af Support: Brug så lidt supportmateriale som muligt for at reducere efterbehandlingstid og materialeforbrug. Placér supports strategisk for at lette fjernelsen efter printning.
- Design for Minimal Support: Design modeller med færre overhæng eller integrer naturlige støttestrukturer i modellen for at reducere behovet for supports.
- Materialevalg: Overvej brugen af opløselige supportmaterialer (som PVA) for nemmere fjernelse og renere overflader på komplekse geometrier.

Ved at optimere designet for support og overhæng kan man sikre bedre printkvalitet, reducere efterbehandlingsarbejdet og effektivt udnytte materialer og printertid.

Behovet for support ved FDM-print er når vinklen mellem byggepladen og det der skal printes, kommer under en vinkel på 45°.

© AM Learning Lab 2024.

Embossed & Engraved Details



Embossed (opstående) og engraved (indgraverede) detaljer refererer til henholdsvis hævede og indlejrede mønstre eller tekster på overfladen af en 3D-printet del. Disse detaljer kan tilføje funktionalitet, æstetisk værdi eller information til de printede komponenter. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at overveje præcision, læsbarhed og printorientering, når man designer sådanne detaljer.

Designovervejelser for Embossed & Engraved Details:

- Dimensioner: Sørg for, at de hævede eller indlejrede detaljer har passende dimensioner i forhold til printerens opløsning. For små eller fine detaljer kan blive utydelige eller ufuldstændige.
- Printorientering: Orientér modellen, så de embossed eller engraved områder ligger vandret eller med minimal hældning for at sikre optimal printkvalitet og tydelighed.
- Kontrast: Design embossed detaljer med tilstrækkelig højde og engraved detaljer med passende dybde for at sikre, at de er synlige og lette at skelne.
- Materialevalg: Vælg materialer, der kan gengive fine detaljer præcist, og som har en passende overfladekvalitet for den ønskede æstetik eller funktion.

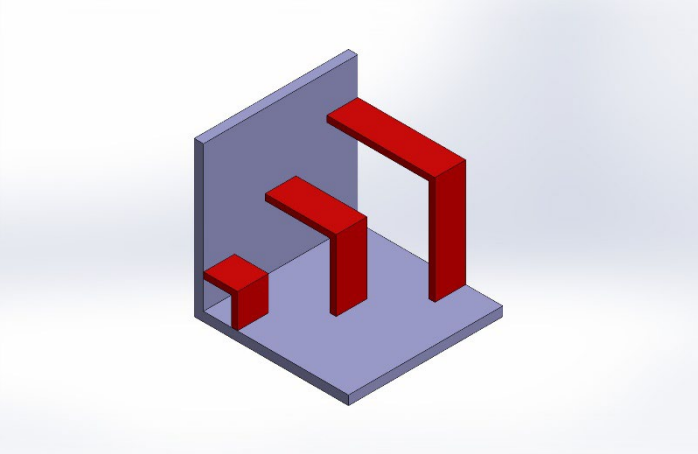
Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man sikre, at embossed og engraved detaljer på 3D-printede dele er klare, præcise og funktionelle, hvilket forbedrer den samlede kvalitet og anvendelighed af de fremstillede komponenter.

Minimumstørrelsen på Embossed & Engraved Details ved FDM-print er 0,6mm i bredde og højde

© AM Learning Lab 2024.

Horizontal Bridges

Horizontal bridges refererer til flade, horisontale sektioner af en 3D-printet model, som spænder mellem to understøttede punkter uden direkte støtte nedenunder. Disse strukturer kræver særlig opmærksomhed i Design for Additive Manufacturing (DfAM) for at sikre, at broen printes korrekt uden at sagge eller deformere.



Designovervejelser for Horizontal Bridges:

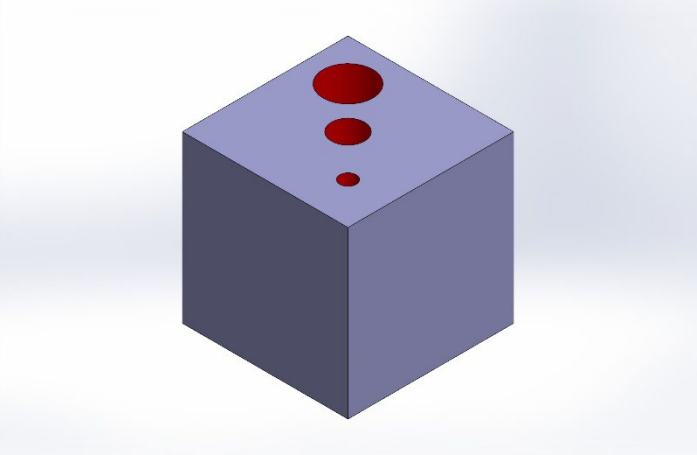
- Bro-længde: Hold længden af broen kort for at minimere risikoen for sagging. Generelt kan kortere broer printes uden support, mens længere broer kan kræve støtte.
- Køling: Brug aktiv køling (f.eks. en blæser) for at sikre, at broens materiale hurtigt afkøles og hærder, hvilket hjælper med at opretholde strukturel integritet.
- Print-hastighed: Reducer print-hastigheden, når broen printes, for at sikre, at materialet har tid til at sætte sig korrekt og forhindre hængning.
- Materialevalg: Vælg materialer, der har gode hærdningsegenskaber og er mindre tilbøjelige til at deformere, når de strækkes over en bro.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man effektivt designe og printe horizontal bridges, der opretholder strukturel integritet og printkvalitet, hvilket resulterer i mere præcise og funktionelle 3D-printede dele.

Den maksimale afstand en bro kan printes uden deformering ved FDM-print er 10mm

© AM Learning Lab 2024.

Holes



Holes refererer til huller eller åbninger i en 3D-printet struktur. Disse kan variere fra små monteringshuller til større gennemgående åbninger og bruges til mange formål, såsom fastgørelse, vægtbesparelse eller funktionel integration. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at designe huller med tanke på præcision, styrke og printbarhed.

Designovervejelser for Holes:

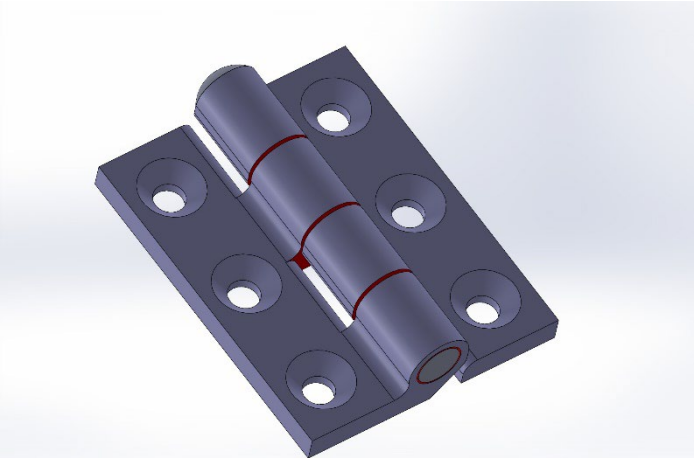
- Orientering: Placer huller så de er orienteret vertikalt i printretningen (Z-aksen), når det er muligt, for at opnå bedre rundhed og dimensionel nøjagtighed.
- Diameter: Sørg for, at hullernes diameter er tilpasset printerens opløsning og materialets egenskaber. Meget små huller kan være vanskelige at printe præcist.
- Efterbearbejdning: Design huller med en lidt mindre diameter, hvis efterbearbejdning (såsom boring eller skæring) er påkrævet for at opnå nøjagtige dimensioner.
- Støttestrukturer: Undgå behovet for supports inde i huller ved at justere orienteringen eller bruge bro-strategier for at opretholde åbningen uden hængning eller deformation.
- Materialevalg: Vælg materialer, der sikrer god lagvedhæftning og minimal krympning, for at bevare hullernes dimensionale nøjagtighed.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man sikre, at huller i 3D-printede dele er præcise, funktionelle og lette at printe, hvilket forbedrer den samlede kvalitet og anvendelighed af de fremstillede komponenter.

Minimumdiameteren på et vertikalt hul der kan printes uden deformering ved FDM-print, er Ø2mm
Maksimumdiameteren på et horisontalt hul der kan printes uden deformering ved FDM-print, er Ø5mm

© AM Learning Lab 2024.

Connecting & Moving Parts



Connecting & moving parts refererer til design af komponenter, der skal samles eller bevæge sig relativt til hinanden i en 3D-printet struktur. Dette inkluderer hængsler, gear, snap-fit forbindelser og andre mekanismer. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at optimere disse dele for at sikre korrekt funktionalitet, holdbarhed og printbarhed.

Designovervejelser for Connecting & Moving Parts:

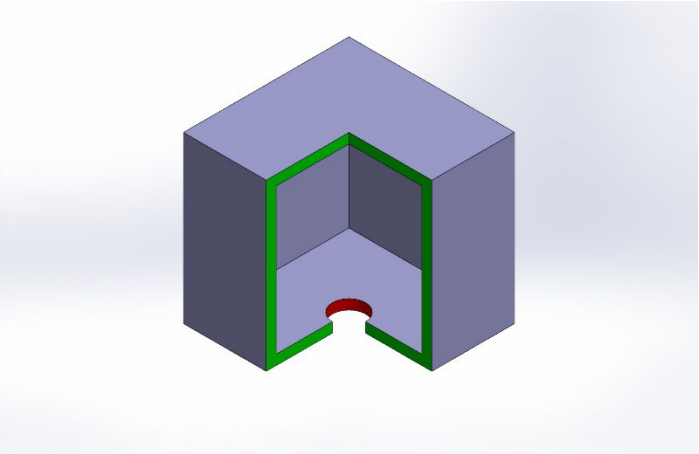
- Tolerancer: Design med passende tolerancer for at sikre, at bevægelige dele ikke sidder for stramt eller for løst. Justér afstande baseret på printerens nøjagtighed og materialets krympning.
- Materialevalg: Vælg materialer med passende mekaniske egenskaber, såsom styrke og fleksibilitet, for at sikre holdbarhed og ydeevne af bevægelige dele.
- Printorientering: Orientér delene korrekt for at minimere behovet for supports og sikre stærke lagbindinger i kritiske områder, hvilket forbedrer komponenternes styrke og holdbarhed.
- Samling og Integritet: Design snap-fit forbindelser, kliksystemer eller andre samlemetoder, der er lette at samle og adskille uden at beskadige delene.
- Funktionel Test: Prototype komponenter for at teste bevægelser og justér designet baseret på praktiske resultater for at sikre optimal funktionalitet og ydeevne.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man effektivt skabe 3D-printede komponenter med bevægelige dele og forbindelser, der fungerer korrekt, er holdbare og er lette at producere. Dette muliggør innovative og funktionelle designs, der drager fuld fordel af additive manufacturings muligheder.

Ved FDM-print kræves som udgangspunkt et spillerum på 0,5mm

© AM Learning Lab 2024.

Escape Holes



Escape holes refererer til åbninger i en 3D-printet struktur, der tillader fjernelse af overskydende materiale eller supportstrukturer. I FDM (Fused Deposition Modeling) print anvendes escape holes, når man printer lukkede beholdere eller komplekse geometrier med indvendige supports, som kan opløses og fjernes gennem disse huller. Dette sikrer, at indre hulrum er rene og fri for materiale, der kan påvirke delens funktionalitet eller vægt.

Designovervejelser for Escape Holes:

- Placering: Placer escape holes strategisk i bunden eller på mindre synlige områder af modellen for at sikre effektiv tømning af overskydende materiale eller opløst support.
- Størrelse: Design hullerne store nok til at tillade let fjernelse af materiale, men ikke så store, at de kompromitterer delens strukturelle integritet.
- Antal: Brug flere escape holes om nødvendigt for at sikre, at alt overskydende materiale eller opløst support kan fjernes effektivt fra komplekse eller store indre hulrum.
- Form: Vælg former, der minimerer risikoen for blokeringer og tillader let flow af overskydende materiale eller opløst support, såsom cirkulære eller ovale huller. Koniske escape holes er særligt effektive, da de kan lukkes med koniske propper efter fjernelse af supportmaterialet.
- Materialer: Anvend opløselige supportmaterialer, som PVA, der kan fjernes ved at opløse det i vand og hælde det ud gennem escape holes.

Propning af Escape Holes:

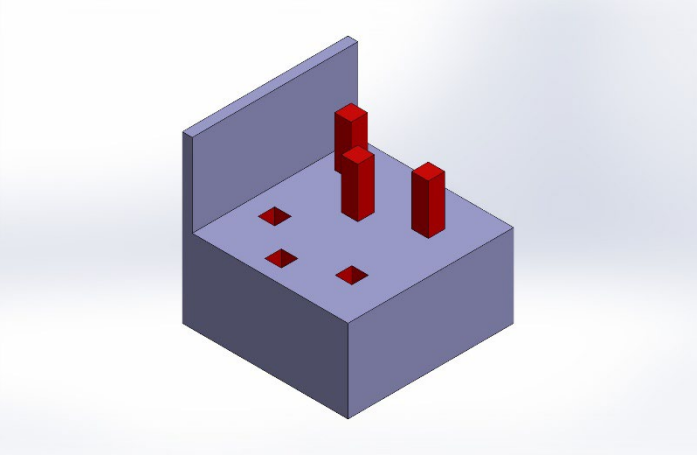
- Koniske Proportioner: Design escape holes som koniske for at muliggøre nem propning. En konisk prop, der passer nøjagtigt til hullet, kan 3D-printes og bruges til at lukke åbningen efter fjernelse af overskydende materiale.
- Montering: Efter at den 3D-printede beholder er drænet for PVA eller andet opløseligt materiale, kan den koniske prop indsættes i escape hullet. Proppen kan derefter limes på plads for at sikre en tæt lukning og forhindre lækager.
- Æstetik og Funktion: Proppen kan designes, så den flugter med beholderens ydre overflade for at bevare en glat og æstetisk tiltalende finish. Dette sikrer både funktionalitet og en pæn afslutning på den printede del.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man sikre, at escape holes effektivt, fjerner overskydende materiale eller opløst support og derefter lukkes ordentligt med koniske propper, hvilket forbedrer kvaliteten og funktionaliteten af de 3D-printede dele.

Ved FDM-print kræves et Escape Hole der er >Ø20mm

© AM Learning Lab 2024.

Minimum Features



Minimum features refererer til de mindste detaljer eller dimensioner, der kan printes præcist på en 3D- printer. Dette omfatter små huller, tynde vægge, fine teksturer og andre små geometriske elementer. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at forstå og designe inden for printerens kapabiliteter for at sikre, at disse små detaljer bliver præcist og pålideligt gengivet.

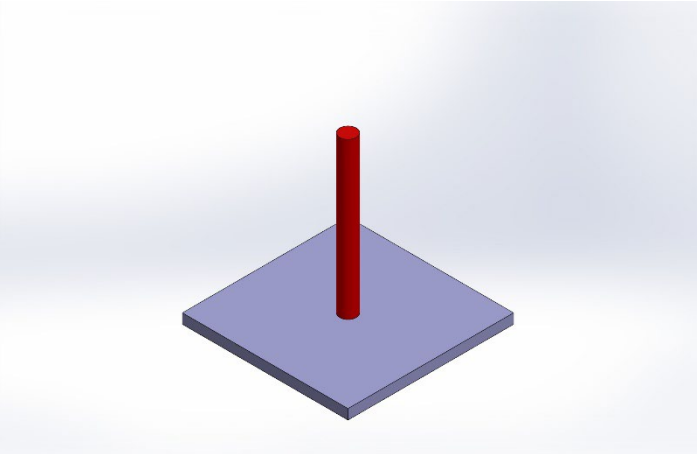
Designovervejelser for Minimum Features:

- Printeropløsning: Kendskab til 3D-printerens minimale lagtykkelse og XY-opløsning er afgørende for at designe funktioner, der kan printes korrekt. Funktioner mindre end printerens opløsning vil ikke blive gengivet nøjagtigt.
- Materialegenskaber: Vælg materialer, der kan håndtere små detaljer uden at miste strukturel integritet. Nogle materialer kan have begrænsninger i forhold til, hvor tynde eller små funktioner de kan støtte.
- Støttestrukturer: Overvej brugen af støttestrukturer til meget små eller tynde funktioner for at sikre, at de printes uden at deformeres eller mislykkes. Dog bør behovet for supports minimeres, hvor muligt, for at lette efterbehandling.
- Designjusteringer: Tilpas eller forstør små detaljer for at sikre, at de kan printes. For eksempel kan tynde vægge gøres lidt tykkere, eller små huller kan forstørres, så de passer inden for printerens kapabiliteter.
- Efterbehandling: Planlæg for efterbehandlingstrin, hvis nødvendigt, for at forbedre præcisionen af små funktioner. Dette kan inkludere manuel fjernelse af overskydende materiale eller finpudsning af detaljer.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man sikre, at minimum features bliver præcist og pålideligt printet, hvilket forbedrer kvaliteten og funktionaliteten af de 3D-printede dele.

© AM Learning Lab 2024.

Pin Diameter



Pin diameter refererer til dimensionen af cylindriske elementer i en 3D-printet struktur, såsom stifter, aksler eller tapper. Disse elementer bruges ofte til samling, justering eller som funktionelle dele i mekanismer. I Design for Additive Manufacturing (DfAM) er det vigtigt at designe pin diameter med præcision for at sikre pasform, styrke og funktionalitet.

Designovervejelser for Pin Diameter:

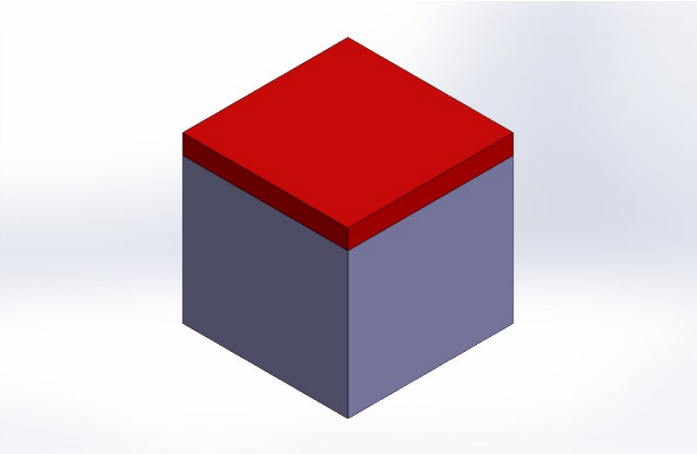
- Tolerancer: Design med passende tolerancer for at sikre, at pinnen passer korrekt i dens modstykke (f.eks. et hul eller en bøsning). For stramme tolerancer kan føre til monteringsproblemer, mens for løse tolerancer kan resultere i dårlig pasform og funktion.
- Printeropløsning: Vær opmærksom på printerens opløsning og nøjagtighed. Meget små diametre kan være vanskelige at printe præcist, især hvis de ligger tæt på printerens minimumsgrænser.
- Materialer: Vælg materialer, der giver tilstrækkelig styrke og holdbarhed til at modstå belastninger og slid, som pinnerne kan udsættes for. Nogle materialer kan være bedre egnet til fine detaljer og små diametre end andre.
- Printorientering: Orientér modellen for at minimere behovet for støttestrukturer og sikre, at pinnerne printes med optimal styrke og dimensionel nøjagtighed. Vertikal printning af pinner kan hjælpe med at undgå lagdeling og svaghedszoner.
- Efterbearbejdning: Overvej behovet for efterbearbejdning, såsom slibning eller boring, for at finjustere diameteren og sikre en nøjagtig pasform. Dette kan især være nødvendigt for meget præcise eller kritiske anvendelser.

Ved at tage disse designovervejelser i betragtning kan man sikre, at pin diameter printes præcist og fungerer korrekt i den endelige 3D-printede struktur, hvilket forbedrer kvaliteten og pålideligheden af de fremstillede dele.

Minimumstørrelser på Pin Diameter og højde er >Ø3mm i diameter og <15mm i højden.

© AM Learning Lab 2024.

Tolerance



Tolerancer refererer til de acceptable afvigelser fra de specificerede dimensioner i en 3D-printet del. I FDM (Fused Deposition Modeling) printning er det vigtigt at designe med realistiske tolerancer, da printerens nøjagtighed og materialets egenskaber kan påvirke den endelige dimensionspræcision.

Designovervejelser for Tolerancer:

- Printerpræcision: Kend printerens specifikationer for præcision og opløsning. FDM-printere har typisk en lavere præcision sammenlignet med andre 3D-printteknologier, hvilket betyder, at tolerancerne skal være større for at kompensere for eventuelle variationer.
- Materialekrympning: Forstå, hvordan det valgte materiale krymper eller udvider sig under afkøling. Dette kan påvirke de endelige dimensioner og skal tages i betragtning ved fastsættelse af tolerancer.
- Printindstillinger: Faktorer som laghøjde, printtemperatur, og printretning kan påvirke dimensionsnøjagtigheden. Justeringer i disse indstillinger kan hjælpe med at opnå bedre kontrol over dimensionerne.
- Pasformtyper: Design med passende tolerancer afhængigt af pasformen:
- Spilpasning: Større tolerancer for dele, der skal kunne bevæge sig frit.
- Løspasning: Moderate tolerancer for dele, der skal samles nemt, men uden væsentlig bevægelse.
- Prespasning: Stramme tolerancer for dele, der skal sidde tæt sammen uden bevægelse.
- Efterbearbejdning: Overvej, om efterbearbejdning er nødvendig for at opnå de ønskede tolerancer. Dette kan inkludere slibning, boring eller andre metoder for at finjustere dimensionerne.

Ved at designe med realistiske tolerancer, der tager højde for printerens kapabiliteter og materialernes egenskaber, kan man sikre, at de 3D-printede dele passer og fungerer korrekt. Dette er afgørende for at opnå høj kvalitet og pålidelighed i de endelige produkter.

Anbefalet minimum tolerance ved FDM-print er ±0,2mm og ±0,25% af størrelsen på emnet.

For at blive en dygtig 3D printoperatør er det afgørende at mestre DfAM-principperne for at kunne udnytte 3D-printningens fulde potentiale. Ved at designe med tanke på minimalt materialeforbrug, komplekse geometrier og optimerede strukturer kan man producere innovative og effektive dele, der ikke kun er funktionelle, men også omkostningseffektive og bæredygtige.

© AM Learning Lab 2024.

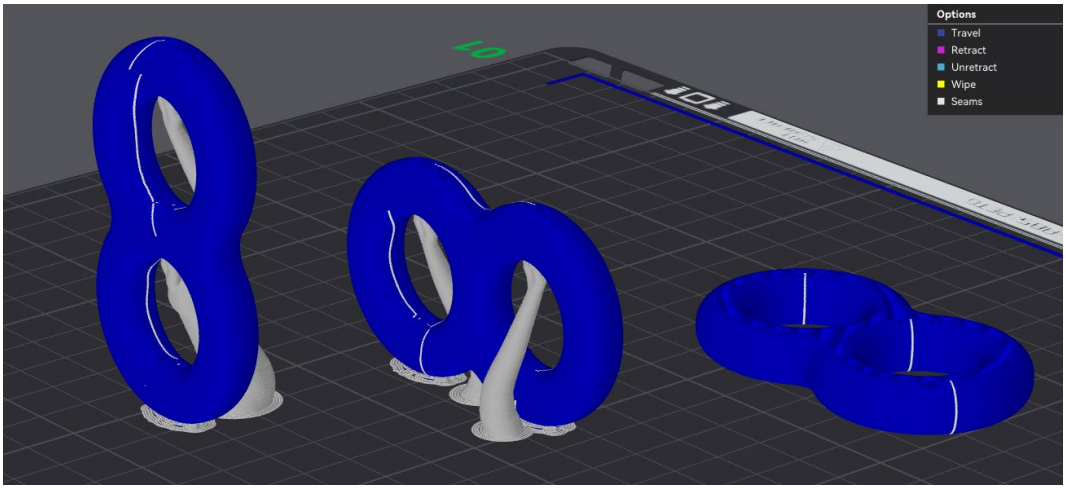
Generelle Designstrategier:

Når man designer til FDM (Fused Deposition Modeling) print, er det vigtigt at tage højde for flere faktorer, som kan påvirke kvaliteten og funktionaliteten af det endelige produkt. Disse faktorer inkluderer printretning, støttemateriale, efterbearbejdning, integration af bevægelige dele og anvendelse af flere forskellige materialer. Her er en dybdegående gennemgang af, hvordan man integrerer disse overvejelser i designprocessen.

Printretning

Printretning refererer til, hvordan en model er orienteret på printbedet. Printretningen kan have en stor indflydelse på styrken, overfladekvaliteten og behovet for supportstrukturer.

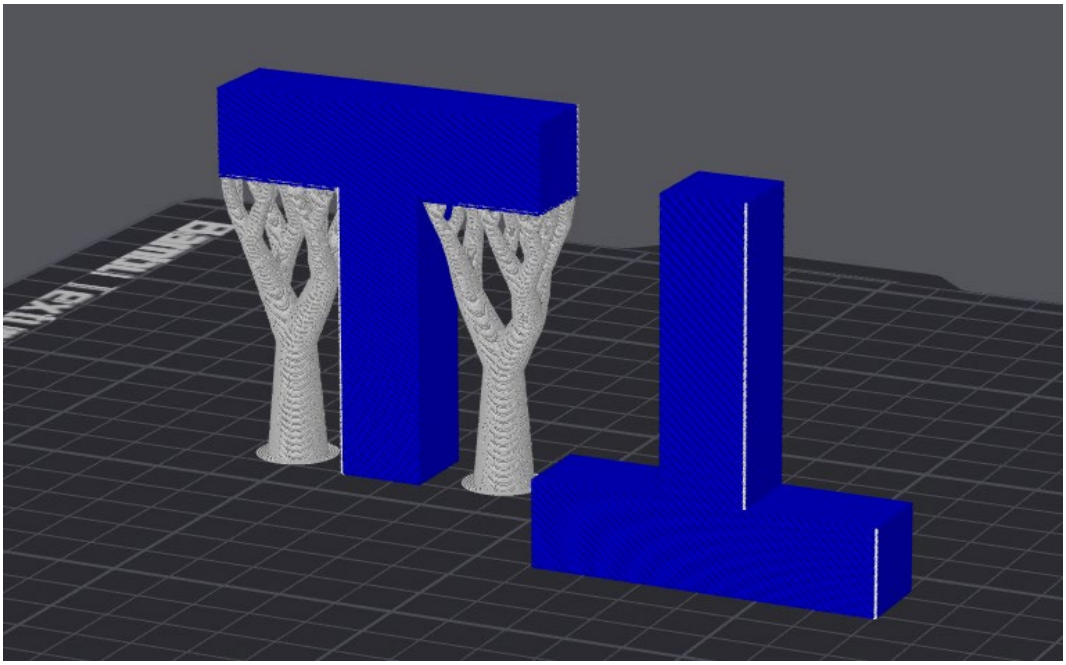
- Styrke: Orienteringen af modellen kan påvirke dens mekaniske egenskaber. For eksempel vil en lodret printet del have forskellige styrkeegenskaber end en vandret printet del, da lagene lægges oven på hinanden og kan skabe svage punkter mellem lagene.



Figur 34 - Orientering af emnet på byggepladen har indflydelse på emnet evne til at klare f.eks. en trækbelastning. Her vil det liggende kædeled have de bedste forudsætninger for at klare en træk belastning, da de printede lag er større sammenhængene kontur.

- Overfladekvalitet: Overvej hvilken del af modellen der skal have den bedste overfladekvalitet. Ved at placere denne del på toppen eller siderne kan man minimere synlige laglinjer.
- Supportbehov: Ved at ændrer designets printretningen kan man reducere behovet for supportmateriale.

© AM Learning Lab 2024.

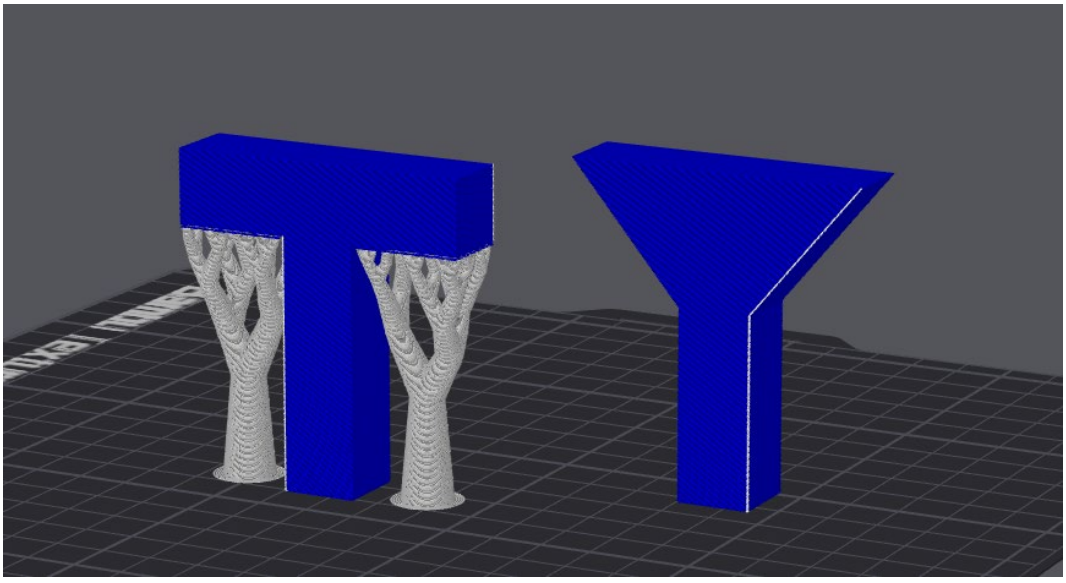


Figur 35 - På emnet til højre har man ændret designets orientering for at undgå support

Supportmateriale

Supportmateriale er nødvendigt for at understøtte overhæng og komplekse geometrier under printprocessen. Dog er det vigtigt at minimere brugen af supportmateriale, da det øger printtid og materialeomkostninger, og efterfølgende fjernelse kan beskadige overfladen.

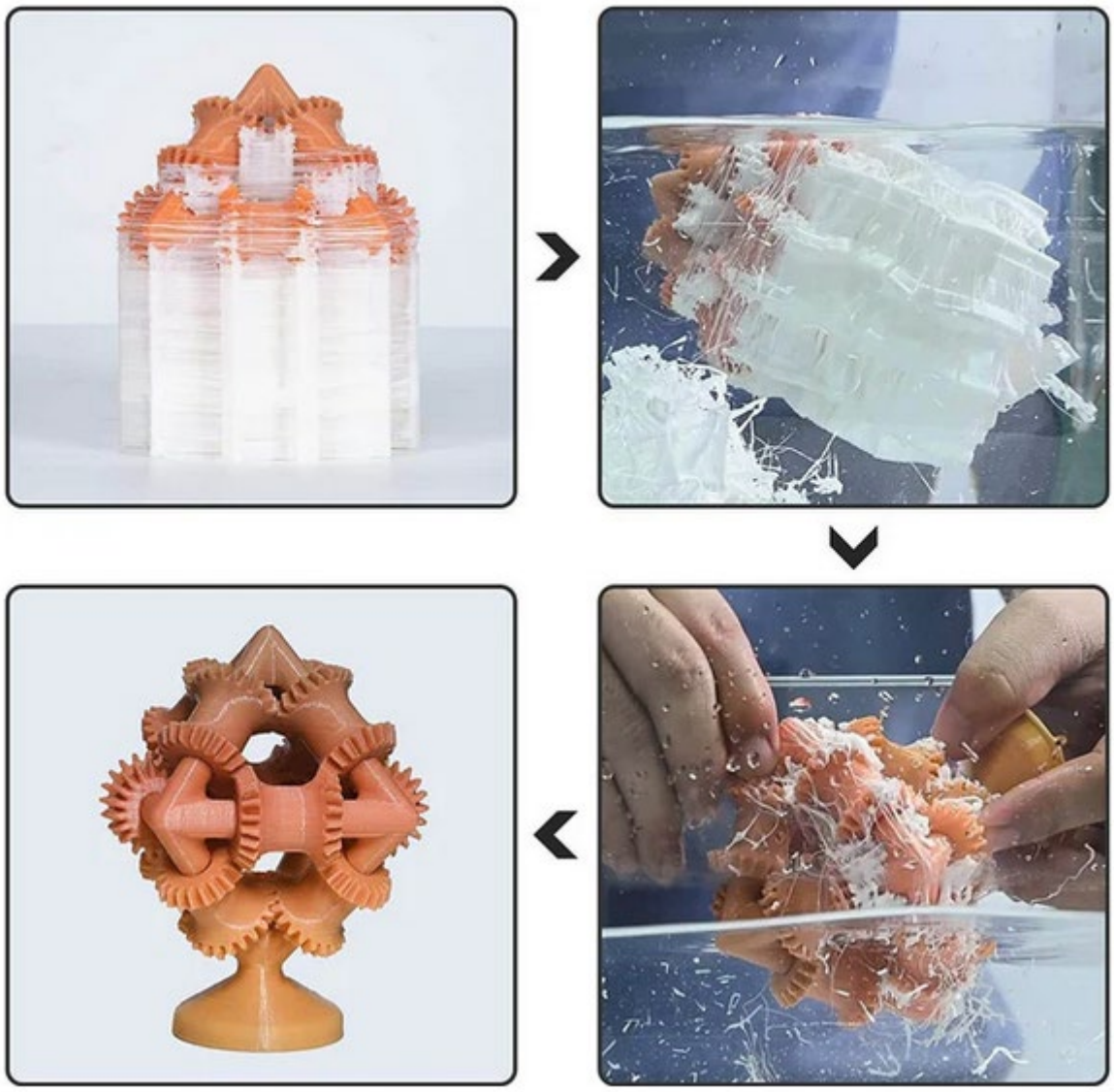
- Optimering af design: Design modellen med færre overhæng og selvunderstøttende strukturer. Dette kan inkludere brug af buer, skrå flader og andre teknikker til at reducere behovet for støtte.



Figur 36 - Designet til højre er optimeret til at undgå support. Tidmæssigt er der sparet 7 min. på printet, samt behovet for postprocessing er fjernet. Materialeforbruget er også minimeret og der er ingen spild.

© AM Learning Lab 2024.

- Supportmateriale valg: Brug opløselige supportmaterialer, som PVA, for at lette fjernelsen af support. Dette er især nyttigt for komplekse indre strukturer, hvor det kan være svært at fjerne traditionelt supportmateriale.



Figur 37 - Processen fra 3D-printet emne med PVA support, til færdig emne uden support (kilde: tronxy3dprinter.com)

- Placering af support: Placer supportstrukturer strategisk for at minimere deres indvirkning på kritiske overflader og lette efterfølgende fjernelse.

© AM Learning Lab 2024.

Efterbearbejdning

Efterbearbejdning refererer til de trin, der tages efter printet, er færdigt for at forbedre det endelige produkts udseende og funktion.

- Fjernelse af support: Efter printning skal supporten fjernes forsigtigt for at undgå at beskadige modellen. Brug værktøjer som tænger, skalpeller eller opløsningsmidler for at fjerne support.
- Overfladebehandling: For at forbedre overfladekvaliteten kan man bruge forskellige metoder som slibning, polering, eller kemisk glatning. Dette kan fjerne laglinjer og give en glat overflade.
- Bearbejdning: Nogle dele kan kræve bearbejdning eller justeringer for at sikre korrekt pasform og funktionalitet. Dette kan inkludere boring, gevindskæring eller montering af bevægelige dele.



Figur 38 - Eksempler på værktøjer og redskaber der anvendes til efterbearbejdning af 3D-printede emner

Integrering af bevægelige dele og flere forskellige materialer

FDM-printning giver unikke muligheder for at integrere bevægelige dele og anvende flere materialer i et enkelt print, hvilket kan forbedre funktionaliteten og reducere behovet for eftermontering.

Bevægelige dele:

- Design af samlinger: Design samlinger med passende tolerancer, så de kan bevæge sig frit efter printning. Dette kan inkludere hængsler, kugleled og glidende mekanismer.
- Print i ét stykke: Nogle mekanismer kan printes som en enkelt enhed, hvor dele er designet til at kunne bevæge sig umiddelbart efter printning. Dette kræver præcis design og forståelse af printerens evner.



Figur 39 - Svensknøglen er printet i et stykke og er fuldt ud funktionel

© AM Learning Lab 2024.

Flere forskellige materialer:

- Dual Extrusion: Brug af en printer med dual extrusion muliggør printning med to forskellige materialer samtidigt. Dette kan bruges til at kombinere stive og fleksible materialer, eller forskellige farver.



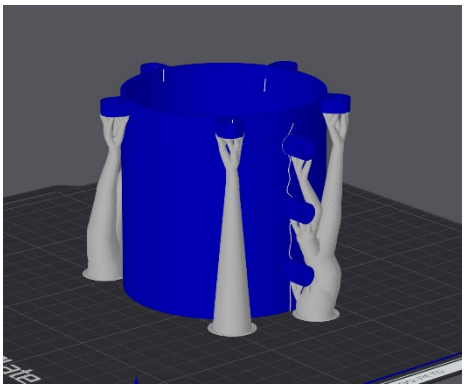
Figur 40 - 3D-printer med 2 individuelle extrudere, hvilket gør det muligt at printe 2 emner på en gang, eller at kombinerer forskellige materialer (Billede: Flashforge)

- Supportmaterialer: Kombiner opløselige supportmaterialer med primært byggemateriale for at skabe komplekse geometrier, som nemt kan frigøres fra deres supports efter printning.

Fillets og Chamfers (afrundinger og affasninger)

Anvendelsen af chamfers (affasninger) og fillets (afrundinger) er afgørende, når man 3D-printer. Disse designteknikker bidrager væsentligt til både printprocessen og kvaliteten af det færdige produkt.

For det første kan chamfers forbedre vedhæftningen til byggepladen. Når man anvender en affasning ved bunden af en model, mindskes overfladearealet, der kommer i kontakt med byggepladen ved starten af printet. Dette reducerer risikoen for warping, hvor bunden af printet kan begynde at løfte sig fra byggepladen, hvilket ofte er et problem i FDM-print. På samme måde hjælper fillets, ved at fjerne skarpe kanter, også med at forbedre vedhæftningen og dermed stabiliteten under printprocessen.



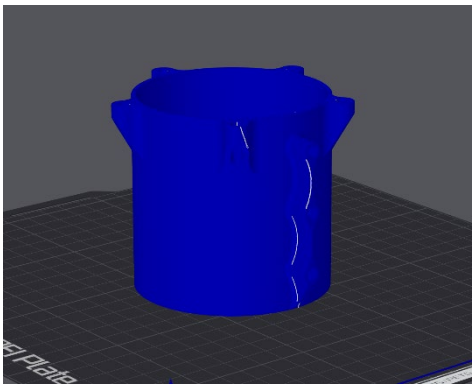
Figur 41 - På dette emne er der ikke anvendt chamfers og fillets. Det giver i dette tilfælde nogle skarpe hjørner hvad der vil være kærvvirkning som reducerer emnets leve tid. Den mangler brug af chamfer og fillets er også med til at øge behovet for support.

Fillets spiller også en vigtig rolle i at reducere stresskoncentrationer i det printede objekt. Skarpe hjørner kan være svage punkter, hvor revner kan opstå, især når modellen udsættes for belastning. Ved at anvende afrundinger i stedet for skarpe kanter forbedres den strukturelle integritet af det færdige produkt, hvilket gør det mere modstandsdygtigt over for skader.

© AM Learning Lab 2024.

Desuden bidrager både chamfers og fillets til en forbedret printkvalitet. Chamfers kan reducere risikoen for printfejl som ujævne lag eller hængende filament, især i overhæng, hvor filamentet kan have svært ved at deponere præcist. Fillets giver en glattere overfladefinish, især ved lagovergange, hvilket resulterer i et mere æstetisk tiltalende og professionelt udseende produkt.

Derudover sikrer fillets bedre lagbinding. Afrundinger hjælper med at fordele materialet jævnt, hvilket forbedrer bindingen mellem lagene og mindsker risikoen for delaminering, hvor lagene adskiller sig fra hinanden. Chamfers kan også gøre det lettere at fjerne støttemateriale ved at skabe en glidende overgang mellem støttede og ikke-støttede dele af printet, hvilket reducerer risikoen for skader ved fjernelsen af støttematerialet.



Figur 42 - Emnet her har fået tilføjet chamfer og fillets, design ændringen her gør at der ikke længere er behov for support. Ingen support = ingen post processing, Ingen post processing = billigere slutprodukt.

Endelig kan anvendelsen af chamfers og fillets optimere både printtid og materialeforbrug. Ved at reducere mængden af skarpe kanter og overflader, der kræver meget materiale, kan disse teknikker hjælpe med at mindske den samlede mængde filament, der bruges, samt reducere den tid, det tager at færdiggøre printet.

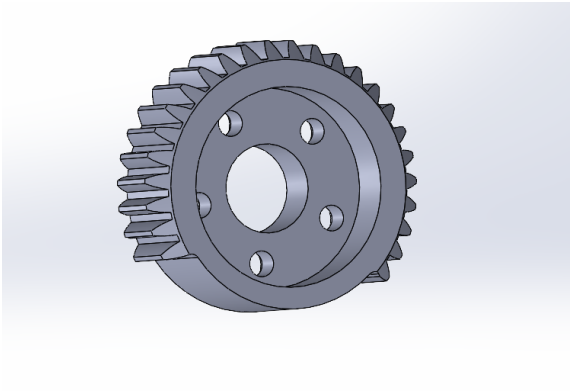
Samlet set er brugen af chamfers og fillets i design til FDM-printning en essentiel teknik for at opnå et funktionelt, æstetisk og effektivt resultat, der både optimerer selve printprocessen og forbedrer kvaliteten af det færdige produkt.

Ved at anvende disse generelle designstrategier kan man optimere 3D-printprocessen, forbedre kvaliteten af de printede dele og udnytte FDM-teknologiens fulde potentiale. Dette sikrer, at modellerne er funktionelle, æstetisk tiltalende og fremstillet på en effektiv måde, der sparer tid og ressourcer.

Design af Funktionelle Emner:

I det følgende vil der blive vist et eksempel på hvordan man kan designe et funktionelt emne som skal anvendes som opspændingsfikstur i en drejebænk. I vil blive taget igennem alle processerne fra behovet opstår til færdig printet emne.

Dette tandhjul er fremstillet på en 3D-printer, og er fremstillet i rustfast stål 316L. Produktions tolerancen ved metalprint er ±0,1mm hvilket gør at de 2 indvendige diametre skal slet bearbejdes i en drejebænk for at opnå pasningerne på Ø22H7 og Ø50H7
Tandhjulets udvendige diameter er Ø74mm og det udvendige område uden tænder er R31mm og har samme center som de Ø74mm.



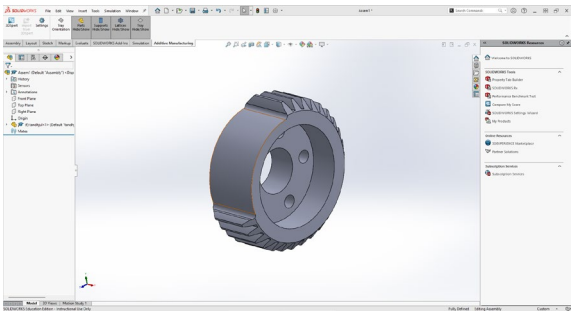
© AM Learning Lab 2024.

Drejebænken som tandhjulet skal bearbejdes på, har en 3-kloet centrer patron som vist her på billedet til højre. Der er monteret bløde klør i centrer patronen som er udboret til en diameter på Ø74mm.

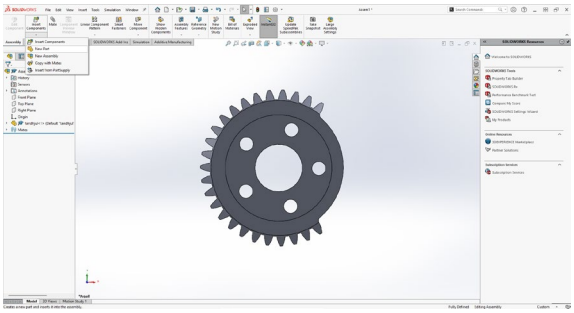
En klos bredde er 25mm og er udboret i en dybde af 29,3mm.



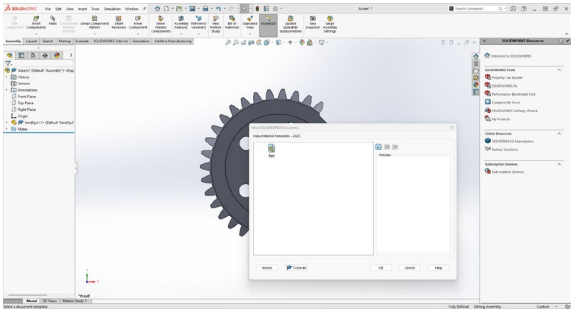
Først åbnes 3D-modellen af tandhjulet og importeres til en assembly.



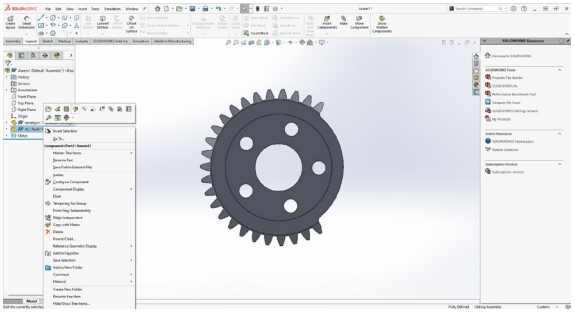
Opret en ny part i assemblyen



Vælg Part og tryk ok

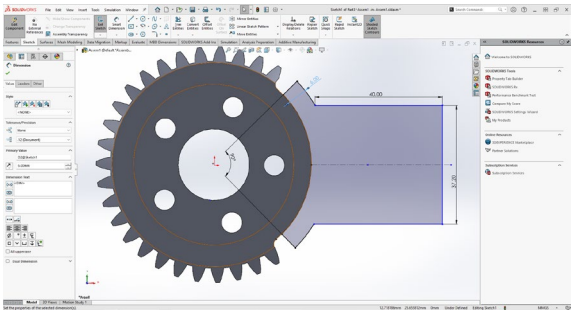


Find den nye part i Feature Manager Design Tree i venstre side. Højre klik på parten og vælg Edit part.



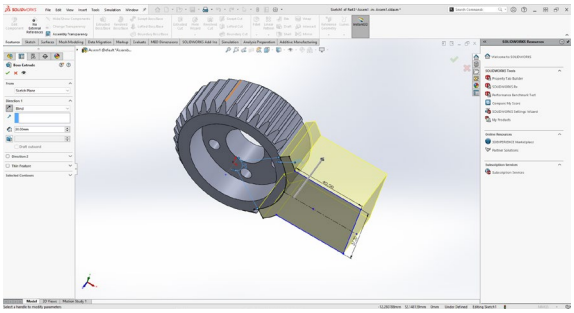
© AM Learning Lab 2024.

Der oprettes en sketch og der tegnes en radius som passer med radiussen på tandhjulet. Radiussen længde skal svare til 90°. En ny radius med samme center som den første tegnes med et offset på 6mm.

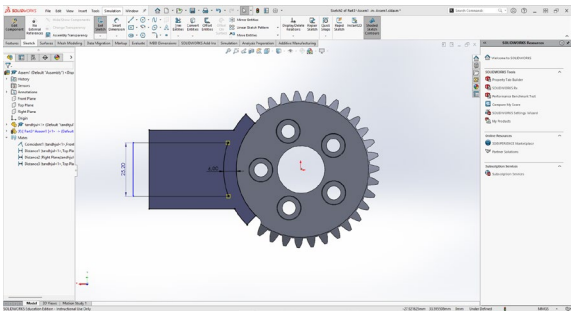


Delen af emnet som skal ”omfavne” den bløde klo skal have en bredde som svare til kloen bredde +0,2mm slup + 12mm til siderne i alt 37,2mm Længden skal være 40mm.

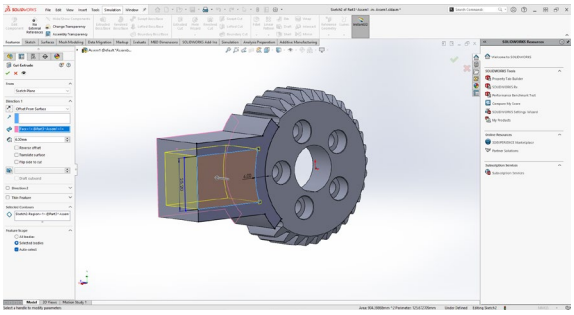
Den tegnede kontur ekstruderes ud til 30mm.



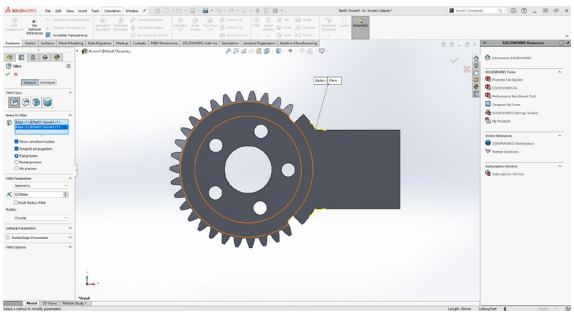
En ny sketch oprettes og en indvendig kontur tegnes med et offset på 6mm



Den indvendige kontur ekstruderes væk indtil et offset på 6mm fra forsiden.

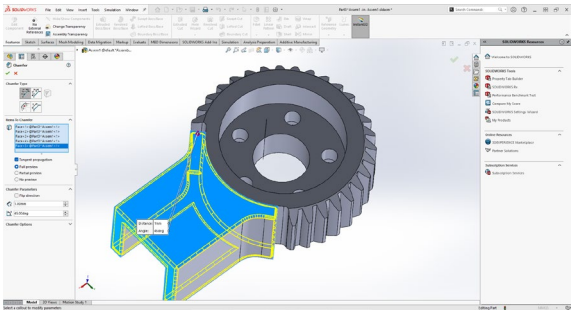


Der laves rundinger/fillets på R10mm i de 2 hjørner for at mindske kærvvirkninger.

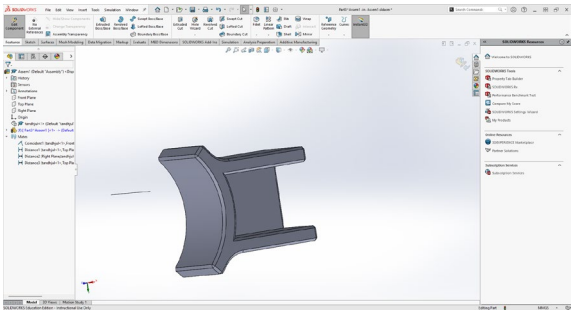


© AM Learning Lab 2024.

Alle udvendige kanter affases med 1mmx45°



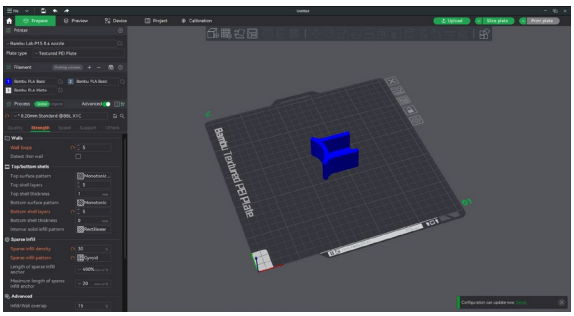
Emnet er færdig og kan eksporteres som STL.



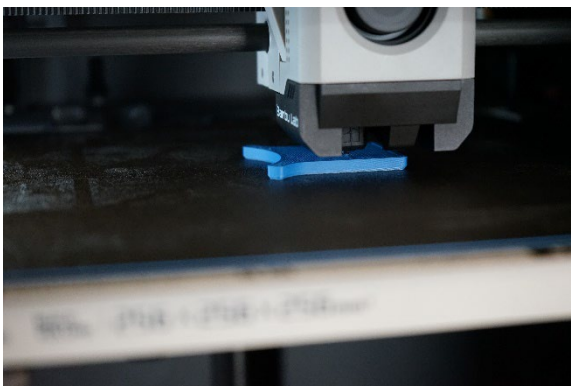
Importer fiksturet til Bambu Studio og placere emnet med den store flade ned mod byggepladen.
Indstillinger:

- Layer height: 0,2mm
- Wall shell: 5
- Top shell: 5
- Bottom shell: 5
- Infill pattern: Gyroid
- Infill density: 60%

Print!



Printtiden er estimeret til at være cirka 58min.



© AM Learning Lab 2024.

Fiksturet er færdig, og klar til brug



Opgave 3-1: Design af blødekæber til skruestik (Fiksturløsning)

Case:

Man ønsker at få fremstillet en bearbejdningsfikstur, som gør det muligt at bearbejde flangen på et rørstykke. Flangen er udformet på en måde, som gør at det ikke er muligt at spænde emnet op på almindeligvis. Bearbejdningsfiksturet består af 2 specialdesignede kæber som monteres på en centrende skruestik.

Der skal kunne laves 4 huller i flangen og selve rørstykket skal affases indvendig samt udvendig.

Opgaven:

- Design en fikstur løsning ud fra kundens krav, CAD-modellen og den 3D printede prototype
- Sørg for at fikstur løsningen er stabil, så emnet ikke kommer i svingninger under bearbejdning.
- Tag hensyn til de guidelines og muligheder der er i Design for Additive Manufacturing
- Slice STL-filen så der er taget højde for fiksturets styrker i forhold til printretning.
- Print fikstur løsningen til kunden.

Tidsramme:

Tidsrammen er 1,5 time. (Emnet må printes uden for tidsrammen.)

Til rådighed:

- En stk. Blød kæbe + 3D model (Step)
- CAD-model af det emne der skal opspændes (Step)
- Fysisk 3D print af emnet der skal opspændes.

Materiale:

- PA6-CF

© AM Learning Lab 2024.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel har I lært om Design for Additive Manufacturing (DfAM). I har fået en introduktion til DfAM, hvor I har forstået, hvordan man optimerer design til additive fremstillingsteknologier for at reducere materialeforbrug, vægt og produktionsomkostninger. I har også fået indsigt i centrale DfAM-principper som topologioptimering og design af komplekse geometrier. Derudover har I lært om betydningen af korrekt design til FDM-print, herunder printretning, efterbearbejdning, og integration af bevægelige dele. Ved at følge disse principper kan I designe mere effektive, funktionelle og økonomisk fordelagtige 3D-printede dele.

04- Materialer

Hvad er Filament?

Filament er det materiale, der anvendes som "byggemateriale" i Fused Deposition Modeling (FDM) teknologien. Det er en termoplastisk tråd, der smeltes og ekstruderes gennem en dyse for at bygge emner lag for lag. Filamentet leveres typisk i ruller og kommer i forskellige diametre, hvor de mest almindelige er 1,75 mm og 2,85 mm.

Materialesammensætning

Filament kan fremstilles af mange forskellige termoplastiske materialer, hver med sine unikke egenskaber og anvendelsesområder. Nogle af de mest almindelige materialer inkluderer PLA, ABS, PETG, og PA6 med kulfiber.

Filamentproduktion

Produktion af filament involverer flere trin:

- **Råmaterialer:** Råplastik eller polymerer smeltes og blandes med eventuelle tilsætningsstoffer såsom farvestoffer eller forstærkende fibre (f.eks. kulfiber).
- **Ekstrudering:** Den smeltede plast presses gennem en dyse for at danne en kontinuerlig tråd med en nøjagtig diameter.
- **Køling:** Filamentet køles hurtigt for at hærde det.
- **Oprulning:** Det færdige filament oprulles på spoler og kontrolleres for ensartet diameter og kvalitet.

Se hvordan filament fremstilles:

https://youtu.be/H6KFhqo7qXg?si=zHEX_cy4v1gjEnwp

Diameter og Tolerance

Filamentets diameter er afgørende for printkvaliteten. En ensartet diameter sikrer en konstant ekstrudering af materiale, hvilket er nødvendigt for præcise og pålidelige prints. Filamentproducenter angiver typisk en diameter tolerance, f.eks. ±0,05 mm, hvilket betyder, at filamentet ikke vil afvige mere end 0,05 mm fra den angivne diameter.

© AM Learning Lab 2024.

Opbevaring og Håndtering

Korrekt opbevaring af filament er vigtigt for at bevare dets kvalitet og printbarhed. Mange filamenter er fugtfølsomme og kan absorbere fugt fra luften, hvilket kan forringe printkvaliteten. For at undgå dette bør filament opbevares i en lufttæt beholder med en fugtabsorberende pakke.

Filamentfarver og Specialeffekter

Filament fås i et bredt udvalg af farver og specialeffekter, såsom:

- **Metallic:** Skaber en metallisk glans.
- **Glow-in-the-dark:** Lyser i mørke efter at have været udsat for lys.
- **Træfyldt:** Indeholder træfibre, der giver en trælignende overflade og duft.

Disse specialeffekter giver brugerne mulighed for at tilpasse og forbedre deres 3D-printede objekter yderligere.

Ulemper ved Tilsætning af Specialeffekter og Fibre til Filament

Selvom tilsætning af specialeffekter og fibre til filament kan forbedre dets æstetiske og mekaniske egenskaber, er det ikke altid en god idé. Tilsætningsstoffer som metalpartikler, glow-in-the-dark-materialer, og træfibre kan komplicere genanvendelsesprocessen. Disse materialer kan ikke nemt adskilles fra den termoplastiske base, hvilket reducerer filamentets genanvendelighed. Desuden kan fibre som kul- eller glasfibre gøre plasten hårdere og mere slibende, hvilket kan skade genanvendelsesudstyr og skabe tekniske udfordringer.

Når plasten blandes med forskellige tilsætningsstoffer, bliver den ofte klassificeret som problemaffald. Dette skyldes, at det kræver speciel behandling og kan forårsage miljøproblemer, hvis det ikke bortskaffes korrekt. Dermed øges både de økonomiske og miljømæssige omkostninger ved håndtering af plastaffald med tilsætningsstoffer, hvilket gør det mindre bæredygtigt sammenlignet med rene termoplastiske materialer.

Filamenttest og Kvalitetskontrol

Filament gennemgår omfattende tests og kvalitetskontrol for at sikre, at det opfylder specifikationerne for diameter, rundhed og materialehomogenitet. Dette inkluderer målinger af diameter med høj præcision, test af flowrate og mekaniske egenskaber.

Ofte anvendte materialer

Filament er en afgørende komponent i FDM 3D-print, der påvirker printkvaliteten, holdbarheden og anvendelsesmulighederne for de færdige produkter. Ved at have kendskab til de forskellige typer filament, deres egenskaber, og hvordan de skal opbevares og håndteres, kan brugere maksimere deres 3D-printes potentiale og sikre optimale resultater.

Valget af materiale i FDM-print afhænger i høj grad af den specifikke anvendelse og de ønskede egenskaber af det endelige produkt. PLA er populært for sin brugervenlighed og miljøvenlighed, mens PA6 med kulfiber er uundværligt for applikationer, der kræver høj mekanisk ydeevne. Det er afgørende at forstå disse materialers tekniske egenskaber og anvendelsesmuligheder for at kunne udnytte FDM-teknologiens fulde potentiale i fremtidige industrielle applikationer.

© AM Learning Lab 2024.

For at udnytte potentialet ved FDM-teknologien er det afgørende at kende de forskellige materialer, der anvendes. Her er en gennemgang af de mest almindeligt anvendte materialer, med særlig vægt på PLA og PA6 med kulfiber.

I det følgende afsnit præsenteres de mest anvendte plasttyper til FDM-print og deres fordele og ulemper. Det suppleres af en krydssammenligning af materialerne som gerne skulle være med til at gøre det nemmere for 3D-print operatøren at udvælge et materiale til en konkret opgave.

PLA (Polylactic Acid)

Egenskaber:

- PLA er en bioplastik fremstillet af fornybare ressourcer som majsstivelse eller sukkerrør.
- Det er let at printe med, da det har et lavt smeltepunkt (ca. 180-220°C) og minimal warping. (Termiske afbøjninger)
- PLA er biologisk nedbrydeligt og har lav miljøpåvirkning.

Anvendelse:

- PLA anvendes bredt til prototyper, undervisningsmodeller og dekorative genstande på grund af dets nemme printbarhed og fine overfladekvalitet.
- Det er mindre egnet til mekanisk belastede dele eller anvendelser, der kræver høj temperaturbestandighed, da det kan blive sprødt og deformere ved høje temperaturer.

Fordele og Ulemper:

- Fordele: Miljøvenligt, nemt at printe med, god overfladekvalitet.
- Ulemper: Lav temperaturbestandighed, mindre styrke og holdbarhed sammenlignet med andre materialer.

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Egenskaber:

- ABS er en petroleumsbaseret plastik, kendt for sin holdbarhed og styrke.
- Det har en højere smeltepunkt (ca. 210-250°C) og kræver en opvarmet byggeplade for at forhindre warping, og et lukket byggekammer for at undgå kulde/træk.

Anvendelse:

- ABS bruges ofte til funktionelle prototyper, mekaniske dele og produkter, der kræver modstandsdygtighed over for stød og høje temperaturer.
- Det er almindeligt anvendt i bilindustrien og til fremstilling af husholdningsapparater.

Fordele og Ulemper:

- Fordele: Høj styrke og holdbarhed, god temperaturbestandighed.
- Ulemper: Sværere at printe med på grund af warping, udleder ubehagelige dampe under printning.

© AM Learning Lab 2024.

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)

Egenskaber:

- PETG kombinerer fordelene ved PLA og ABS, idet det er let at printe med og har høj styrke.
- Det har en smeltepunkt på ca. 220-250°C og er kendt for sin fleksibilitet og slagfasthed.

Anvendelse:

- PETG er velegnet til funktionelle dele, beholdere, og mekaniske komponenter, hvor både styrke og fleksibilitet er nødvendige.
- Det bruges også til fødevarebeholdere og medicinsk udstyr, da det er fødevaregodkendt*.

* PETG er som plasttype fødevaregodkendt men hvis man ønsker at 3D-printe produkter til fødevareindustrien, er der andre ting som spiller ind inden de printede emner må anvendes i forbindelse med fødevare. For mere information om 3D-print til fødevareindustrien kan Teknologisk Institut kontaktes.

Fordele og Ulemper:

- Fordele: Høj styrke, fleksibilitet, kemikalieresistens.
- Ulemper: Kan være mere følsomt over for fugt under opbevaring, kræver lidt højere printtemperatur.

PA6 med Kulfiber (Polyamid 6 med Kulfiber)

Egenskaber:

- PA6 er en type nylon, der er kendt for sin høje styrke, holdbarhed og modstandsdygtighed over for slid.
- Når det er forstærket med kulfiber, forbedres dets mekaniske egenskaber markant, herunder øget stivhed og reduceret vægt.

Anvendelse:

- PA6 med kulfiber bruges til dele, der kræver høj mekanisk styrke og holdbarhed, såsom maskindele, værktøjer og dele til bilindustrien.
- Det er ideelt til applikationer, hvor materialets lette vægt og høje styrke er kritiske faktorer.

Fordele og Ulemper:

- Fordele: Ekstremt høj styrke og stivhed, god slid- og kemikalieresistens, lav vægt.
- Ulemper: Kan være vanskeligere at printe med, da det kræver høj printtemperatur og er fugtfølsomt, hvilket kræver korrekt opbevaring.

© AM Learning Lab 2024.

Materiale sammenligning

Styrke og Holdbarhed:

Høj: PA6 med kulfiber > ABS > PETG > PLA

PA6 med kulfiber har den højeste styrke og holdbarhed, hvilket gør det ideelt til krævende applikationer. ABS og PETG følger efter, hvor PLA har den laveste styrke og holdbarhed.

Printbarhed:

Let: PLA > PETG > ABS > PA6 med kulfiber

PLA er lettest at printe med, efterfulgt af PETG. ABS og PA6 med kulfiber kræver mere avanceret udstyr og opsætning for at undgå problemer som warping.

Temperaturbestandighed:

Høj: PA6 med kulfiber > ABS > PETG > PLA

PA6 med kulfiber og ABS kan modstå højere temperaturer uden deformation. PETG er moderat temperaturbestandig, mens PLA har den laveste temperaturbestandighed.

Miljøpåvirkning:

Lav: PLA > PETG > ABS > PA6 med kulfiber

PLA er biologisk nedbrydeligt og miljøvenligt, mens PETG også er et godt valg, da det er fødevaregodkendt og genanvendeligt. ABS og PA6 med kulfiber har højere miljøpåvirkning på grund af deres petroleumsbaserede oprindelse.

Fleksibilitet og Slagfasthed:

Høj: PETG > ABS > PA6 med kulfiber > PLA

PETG har den bedste kombination af fleksibilitet og slagfasthed, efterfulgt af ABS. PA6 med kulfiber er meget stift og stærkt, men mindre fleksibelt. PLA er mindst fleksibelt og kan blive sprødt.

Anvendelsesområder:

Prototyping: PLA, PETG

Mekaniske Dele: ABS, PA6 med kulfiber

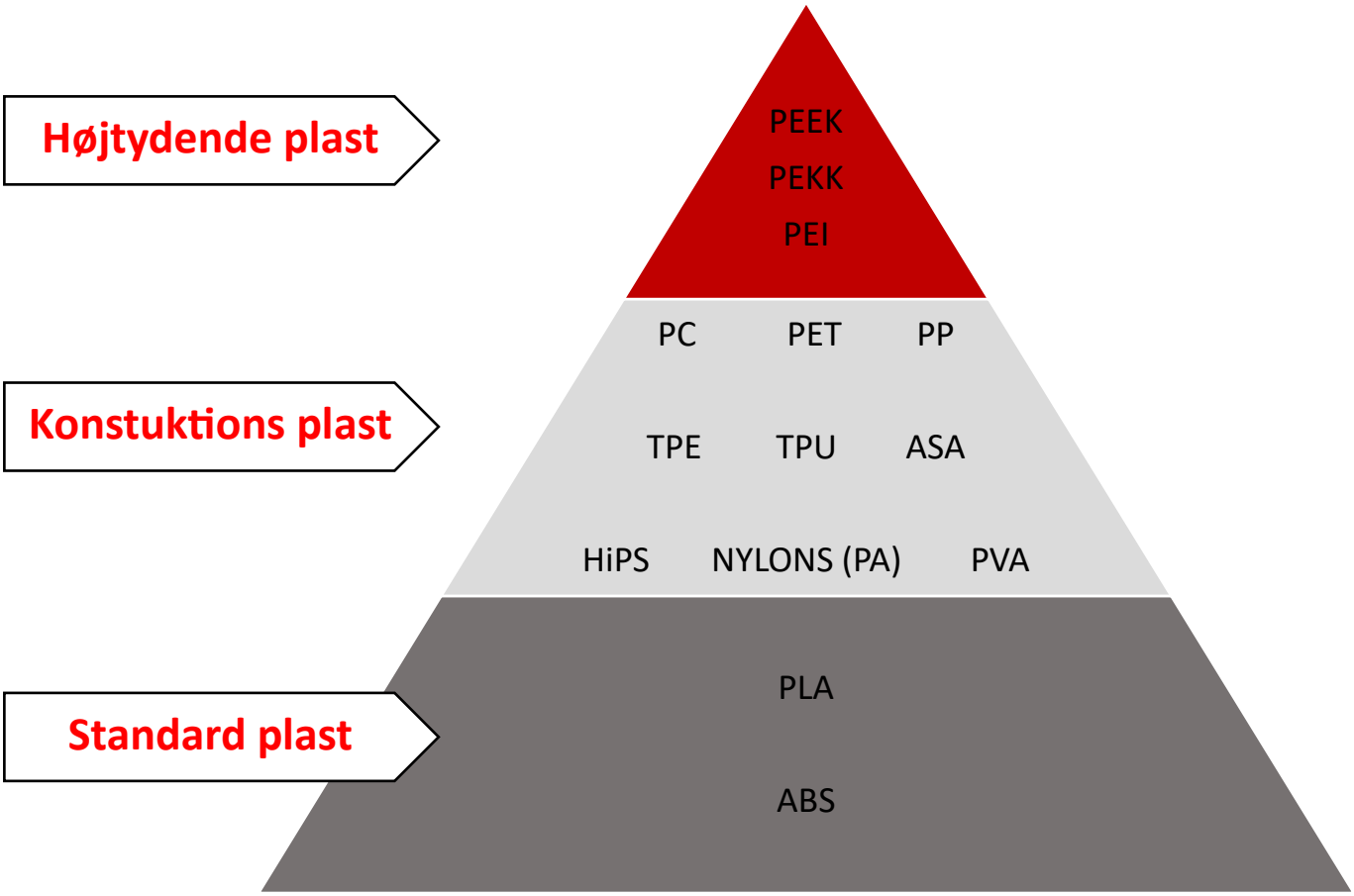
Fødevarebeholdere og Medicinsk Udstyr: PETG

Høje Temperaturer og Krævende Applikationer: PA6 med kulfiber

© AM Learning Lab 2024.

Plasttyper til FDM-print

Plasttyper til FDM-print rækker langt ud over de fire typer der blev præsenteret i det foregående afsnit. I pyramiden herunder ses et bredere udvalg af termoplast materialer til FDM-print. Plasttyperne er delt op i tre kategorier; Højtydende plast, Konstruktions plast og Standard plast.



Højtydende Plast

Højtydende plast, også kendt som avancerede plastmaterialer, er en type plast, der er designet til at opfylde specifikke krav med hensyn til mekaniske egenskaber, varmebestandighed, kemisk resistens og dimensionel stabilitet. Disse plasttyper anvendes i krævende applikationer, hvor almindelig plast ikke kan opfylde kravene. Eksempler på højtydende plast inkluderer PEEK (polyetheretherketon), PEKK (polyetherketonketon) og PEI (polyetherimid).

Disse materialer er kendt for deres:

- **Varmebestandighed:** De kan modstå høje temperaturer uden at miste deres egenskaber.
- **Mekanisk styrke:** De har høj træk- og trykstyrke.

© AM Learning Lab 2024.

- **Kemisk resistens:** De er resistente over for mange kemikalier og opløsningsmidler.
- **Lav friktion:** Nogle højtydende plastmaterialer har lav friktionskoefficient, hvilket gør dem velegnede til anvendelser med bevægelige dele.

Højtydende plast anvendes i mange industrier, herunder luftfart, bilindustri, elektronik, medicinsk udstyr og olie- og gasindustrien. De hjælper med at forbedre ydeevnen og levetiden for de produkter, de anvendes i.

Konstruktionsplast

Konstruktionsplast, også kendt som tekniske plasttyper, er en gruppe plastmaterialer, der har overlegne mekaniske og termiske egenskaber sammenlignet med standardplast. Disse materialer bruges i applikationer, hvor forbedret ydeevne, holdbarhed og modstandsdygtighed over for miljømæssige faktorer er nødvendige. Eksempler på konstruktionsplast inkluderer polycarbonat (PC), polyethylenterephthalat (PET), polypropylen (PP), termoplastisk elastomer (TPE), termoplastisk polyuretan (TPU), acrylonitril-styren-akrylat (ASA), højimpakt polystyren (HiPS) og nylon (PA).

Disse materialer er kendt for deres:

- **Høj Styrke og Holdbarhed:** De har fremragende mekaniske egenskaber, såsom høj trækstyrke og slagfasthed.
- **Termisk Stabilitet:** Disse plasttyper kan modstå højere temperaturer uden at deformere eller miste deres egenskaber.
- **Kemisk Resistens:** De er ofte resistente over for en bred vifte af kemikalier, olier og opløsningsmidler.
- **Dimensionel Stabilitet:** De bevarer deres form og størrelse over et bredt temperaturområde og fugtighedsniveauer.

Anvendelser af konstruktionsplast spænder over forskellige industrier, herunder bilindustri, luftfart, elektronik, forbrugsgoder og medicinsk udstyr. Deres alsidighed og overlegne egenskaber gør dem essentielle til fremstilling af højtydende dele og produkter.

Standardplast

Standardplast, også kendt som almindelige plasttyper, er plastmaterialer, der bruges i vid udstrækning på grund af deres lave omkostninger og alsidige anvendelser. Disse plasttyper har typisk gode mekaniske og kemiske egenskaber, der gør dem egnede til en lang række applikationer. Eksempler på standardplast inkluderer polylaktid (PLA) og acrylonitril-butadien-styren (ABS).

Disse materialer er kendt for deres:

- **Omkostningseffektiv:** Standardplast er generelt billigere at producere og købe, hvilket gør dem økonomisk fordelagtige for masseproduktion.
- **God Mekanisk Styrke:** Disse plasttyper har tilstrækkelig mekanisk styrke til mange almindelige anvendelser, herunder emballage, husholdningsartikler og legetøj.
- **Kemisk Resistens:** Mange standardplasttyper er modstandsdygtige over for kemikalier, hvilket gør dem velegnede til anvendelser i fødevare- og kemikalieindustrien.

© AM Learning Lab 2024.

- **Let Bearbejdelige:** Standardplast kan let formes, støbes og bearbejdes, hvilket gør dem nemme at fremstille i forskellige former og størrelser.

Anvendelser af standardplast omfatter emballage (som plastposer og flasker), byggematerialer (som rør og rørfittings), forbrugerprodukter (som legetøj og køkkenredskaber) og mange andre hverdagsting. På grund af deres brede tilgængelighed og omkostningseffektivitet er standardplast en grundlæggende del af moderne industri og dagligdags liv.

Materialernes tekniske og mekaniske egenskaber

Oplysninger om materialernes tekniske og mekaniske egenskaber kan findes i Technical Data Sheets (TDS), som leveres af filamentproducenterne. Disse datasheets er normalt tilgængelige på producenternes hjemmesider og kan også findes på specialiserede 3D-printfora og materialedatabaser online.

Hvad indeholder et Technical Data Sheet (TDS)?

Et TDS indeholder detaljerede oplysninger om et materiales egenskaber, herunder:

Mekaniske Egenskaber:

- Trækstyrke
- Brudforlængelse
- Elasticitetsmodul
- Slagstyrke

Termiske Egenskaber:

- Smeltepunkt
- Glasovergangstemperatur
- Varmeledningsevne

Fysiske Egenskaber:

- Densitet
- Farve og udseende
- Vandabsorption

Bearbejdningsegenskaber:

- Anbefalet printtemperatur
- Byggepladetemperatur
- Kølehastighed

Kemiske Egenskaber:

- Kemikalieresistens
- Opløselighed

© AM Learning Lab 2024.

Anvendelse af TDS

Technical Data Sheets er vigtige værktøjer for både begyndere og erfarne brugere af 3D-printteknologi. Ved at gennemgå TDS kan brugere:

- Vælge det rigtige materiale: Ved at sammenligne mekaniske og termiske egenskaber kan brugere vælge det mest egnede materiale til deres specifikke applikationer.
- Optimere printindstillinger: TDS giver anbefalinger til printtemperaturer og andre bearbejdningsparametre, hvilket hjælper med at opnå bedre printkvalitet og reducere fejl.
- Forstå materialeadfærd: Ved at kende materialets egenskaber kan brugere forudsige, hvordan det vil opføre sig under forskellige belastninger og miljøforhold, hvilket er afgørende for at designe holdbare og pålidelige dele.
- Sikre sikkerhed og kompatibilitet: TDS kan også give oplysninger om materialets sikkerhed og kemiske kompatibilitet, hvilket er vigtigt for at undgå farlige reaktioner og sikre et sikkert arbejdsmiljø.

Sikkerhedsforanstaltninger og Håndtering:

SDS (Safety Data Sheet)

Et Safety Data Sheet (SDS), også kendt som sikkerhedsdatablad på dansk, er et dokument, der indeholder detaljeret information om egenskaberne og håndteringen af et kemisk produkt. SDS er designet til at give brugerne vigtige sikkerhedsoplysninger om farer, opbevaring, håndtering og nødsituationer forbundet med produktet.

Hvad kan findes i en SDS for filament?

For filament til FDM-print kan en SDS indeholde følgende oplysninger:

- **Produktidentifikation:** Navn på filamentet og producentens kontaktoplysninger.
- **Faremærkning:** Information om eventuelle sundhedsfarer, miljøfarer og fysiske farer.
- **Sammensætning/information om indholdsstoffer:** Kemisk sammensætning af filamentet.
- **Førstehjælpsforanstaltninger:** Anbefalinger til behandling ved eksponering.
- **Brandbekæmpelsesforanstaltninger:** Information om slukningsmidler og procedurer i tilfælde af brand.
- **Forholdsregler ved utilsigtet udslip:** Hvordan man håndterer og renser spild.
- **Håndtering og opbevaring:** Vejledning om sikker opbevaring og håndtering for at undgå risici.
- **Eksponeringskontrol/personlige værnemidler:** Anbefalinger til ventilation, åndedrætsværn, handsker og øjenbeskyttelse.
- **Fysisk og kemiske egenskaber:** Information om udseende, lugt, kogepunkt, smeltepunkt, flammepunkt osv.
- **Stabilitet og reaktivitet:** Information om stabilitet og mulige farlige reaktioner.
- **Toksikologiske oplysninger:** Information om potentielle sundhedsfarer ved eksponering.

© AM Learning Lab 2024.

Hvorfor er det vigtigt at have en SDS?

Det er vigtigt at have en SDS af flere grunde:

- **Sikkerhed:** SDS giver detaljerede oplysninger om farer og hvordan man beskytter sig selv, hvilket er essentielt for at forhindre arbejdsulykker og sundhedsrisici.
- **Overholdelse af lovgivning:** Arbejdsgivere er ofte påkrævet ved lov at have SDS tilgængelige for alle kemiske produkter, der anvendes på arbejdspladsen, for at sikre overholdelse af arbejdsmiljøregler.
- **Nødsituationer:** I tilfælde af en nødsituation, såsom et spild eller brand, indeholder SDS vigtige oplysninger om, hvordan man effektivt og sikkert håndterer situationen.
- **Uddannelse:** SDS fungerer som et uddannelsesværktøj for medarbejdere, så de forstår de materialer, de arbejder med, og kan træffe informerede beslutninger om deres sikkerhed.

Bagerst i dette kompendie kan man se et eksempel på en SDS. (side 141)

Når man arbejder med FDM-print, er det vigtigt at følge sikkerhedsprocedurer for at minimere risici og sikre et sundt arbejdsmiljø. Dette gælder især, når der arbejdes med materialer som PA6 med kulfiber og andre fiberholdige materialer.

Fiberholdige materialer (f.eks. PA6 med kulfiber):

Risici:

- **Fiberfragmenter:** Ved håndtering af fiberholdige materialer kan der frigives fiberfragmenter, som kan være irriterende ved hudkontakt.
- **Dampe:** Når der printes med olieholdige materialer, kan der være giftige dampe i forbindelse med at materialet varmes op.

Foranstaltninger:

- **Ventilation:** Sørg for god ventilation ved brug af udsugningssystemer, som effektivt fjerner eventuelle dampe fra luften. Placér printeren i et velventileret område.
- **Personligt beskyttelsesudstyr (PPE):** Brug handsker for at minimere risikoen for at få fiberfragmenter i fingrene.

Tips til at sikre et sundt arbejdsmiljø

For at opretholde et sundt arbejdsmiljø, især når der arbejdes med potentielt farlige materialer, er følgende forholdsregler anbefalet:

- **Udsugning:** Ved printning med olieholdige materialer som PA6 med kulfiber, ABS, ASA m.fl. skal der være effektiv udsugning. Dette hjælper med at fjerne farlige partikler og dampe fra arbejdsområdet.
- **Arbejdsområde:** Sørg for, at arbejdsområdet er rent og organiseret. Fjern eventuelle overskydende filamenter og støv regelmæssigt.
- **Ventilation:** Generel god ventilation er vigtig. Selv om bionedbrydelige materialer som PLA ikke har de samme krav, er det stadig en god praksis at have en velventileret arbejdsplads.
- **Personligt beskyttelsesudstyr:** Brug altid passende PPE som handsker, når du håndterer fiberholdige filamenter

© AM Learning Lab 2024.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I har lært, at filament er det materiale, der bruges i FDM 3D-print. Det er en termoplastisk tråd, der smeltes og ekstruderes gennem en dyse for at bygge jeres 3D-emner lag for lag. Filament kommer typisk i diametre på 1,75 mm og 2,85 mm.

Materialesammensætning og Produktion

Filament kan være fremstillet af forskellige materialer som PLA, ABS, PETG, og PA6 med kulfiber. I har lært, at produktionen involverer smeltning, ekstrudering, køling og oprulning på spoler.

Diameter, Tolerance og Opbevaring

I har lært, at en ensartet diameter er vigtig for præcise prints, og at filament skal opbevares i lufttætte beholdere med fugtabsorberende pakker for at bevare kvaliteten.

Farver og Specialeffekter

Filament findes i mange farver og med specialeffekter som metallic, glow-in-the-dark og træfyldt. I skal være opmærksomme på, at disse effekter kan gøre genanvendelsen sværere.

Filamenttest og Kvalitetskontrol

I har set, at filament testes for diameter, rundhed og materialehomogenitet for at sikre, at det lever op til høje kvalitetsstandarder.

Sikkerhedsforanstaltninger og Håndtering

I har lært, at det er vigtigt at sikre god ventilation og bruge personligt beskyttelsesudstyr, især når I arbejder med fiberholdige materialer.

Nu har I en grundlæggende forståelse af filament, dets egenskaber, og hvordan I håndterer det korrekt.

© AM Learning Lab 2024.

05- Drift og vedligehold

Introduktion til vedligehold:

Vedligeholdelse af 3D-printere er en afgørende faktor for både levetiden af udstyret og kvaliteten af de printede objekter. At ignorere eller undervurdere betydningen af regelmæssig vedligeholdelse kan føre til en række udfordringer, der kan påvirke både effektiviteten og pålideligheden af 3D-printprocessen.

Betydningen af regelmæssig vedligeholdelse:

Regelmæssig vedligeholdelse sikrer ikke kun, at 3D-printeren fungerer optimalt, men det forlænger også dens levetid. Uden korrekt vedligeholdelse kan komponenter slide unødvendigt, hvilket kan føre til hyppige fejl og endda permanent skade på udstyret. Derudover påvirker vedligeholdelse også kvaliteten af de printede emner direkte. Faktorer som korrekt kalibrering, renhed af printoverfladen og tilstand af dyserne har alle en direkte indvirkning på den endelige printkvalitet.

Typer af vedligeholdelse:

Der er forskellige typer vedligeholdelse, der er vigtige for 3D-printere:

1. **Forebyggende vedligeholdelse:** Dette omfatter rutinemæssig inspektion og rengøring af printerens komponenter for at forhindre potentielle problemer, før de opstår.

2. **Korrigerende vedligeholdelse:** Dette indebærer at løse problemer, når de opstår, og genoprette 3D-printerens funktionalitet til det optimale niveau.

3. **Forudsætningsbaseret vedligehold:** Denne type vedligeholdelse er baseret på specifikke betingelser eller præstationsmål. Det kan indebære udskiftning af dele efter en vis mængde udskrifter eller kalibrering af printeren efter ændringer i produktionsmiljøet.

Daglig og ugentlig vedligeholdelse:

For at sikre en stabil og pålidelig drift af din 3D-printer er det vigtigt at udføre daglig vedligeholdelse. Her er detaljerede anvisninger:

1. **Rengøring af byggepladen:**

- Fjern eventuelle filamentrester fra byggepladen med en blød børste eller klud. Hvis der har været brugt lim eller anden klæbemiddel, skal disse vaskes af med lunken vand. For at sikre optimalvedhæftning på byggepladen kan byggepladen med fordel aftørres med en ISO-propylalkohol wipe for at fjerne eventuelle fedt rester.

- Sørg for, at byggepladen er fri for støv og snavs, da dette kan påvirke vedhæftningsevnen under printprocessen.

2. **Kontrol af filamentrullen:**

- Tjek filamentrullen for eventuelle tegn på knuder eller spændinger, der kan forhindre en jævn tilførsel.

- Kontroller, at filamentet er korrekt indsat i printeren og følger den rette vej gennem extruderens føringssystem.

© AM Learning Lab 2024.

Ugentlig vedligeholdelse:

Ud over den daglige vedligeholdelse er der visse opgaver, der bør udføres ugentligt for at sikre printerens optimale ydeevne. Her er en vejledning til ugentlige vedligeholdelsesopgaver:

1. **Kontrol af bevægelige Dele:**

- Inspektion af alle bevægelige dele, herunder føringer og ledninger, for friktion eller unormal slitage.

- Sørg for, at der ikke er løse eller beskadigede dele, der kan påvirke 3D-printerens nøjagtighed og pålidelighed.

2. **Smøring af føringer og spindler:**

- Påfør et passende smøremiddel på føringer og spindler for at reducere friktion og sikre en glat bevægelse.

- Fjern eventuelle overskydende smøremidler for at undgå snavsophobning, der kan påvirke udskriftskvaliteten.

Månedlig og Årlig Vedligeholdelse:

På længere sigt er der også mere omfattende vedligehold som skal gennemføres, for at man forsat kan være sikker på 3D-printerens drift stabilitet og kvaliteten af det printede emne.

Månedlig Vedligeholdelse:

1. **Dyserengøring:**

- Afmonter dyserne og rengør dem omhyggeligt for eventuelle tilstopninger eller rester, der kan påvirke udskriftskvaliteten.

- Brug en nål eller et specialværktøj til at fjerne eventuelle blokeringer fra dyseåbningerne.

2. **Opdatering af firmware:**

- Kontroller og installer eventuelle firmwareopdateringer, der er tilgængelige for din 3D-printer. Dette kan gøres direkte på 3D-printeren hvis den er forbundet til internettet, eller via producentens hjemmeside.

- Firmwareopdateringer kan indeholde forbedringer i funktionalitet, ydeevne eller fejlrettelser, der kan optimere din printers drift.

3. **Kontrol af elektriske forbindelser:**

- Undersøg alle elektriske forbindelser og kabler for tegn på slid, korrosion eller løse forbindelser.

- Stram eventuelle løse forbindelser og reparer eller udskift beskadigede kabler efter behov for at undgå elektriske problemer.

© AM Learning Lab 2024.

Årlig Vedligeholdelse:

1. **Fejlfinding og udskiftning af komponenter:**

- Gennemgå printerens ydeevne og identificer eventuelle problemer eller tegn på slidte eller defekte komponenter.

- Udskift nødvendige dele såsom slidte drivremme, defekte varmelegemer eller termistorer for at bevare printerens optimale drift.

2. **Kalibrering og justering:**

- Kalibrer printerens bevægelsessystem, herunder stænger, drivremme og stepper motorer, for at sikre nøjagtigheden af printene.

- Juster eventuelle parametre i slicer-softwaren baseret på printerens præstationer og udvikling over tid.

Ved at udføre disse mere omfattende vedligeholdelsesopgaver på månedlig og årlig basis kan du forlænge levetiden og sikre optimal ydeevne af din 3D-printer.

Dokumentation og logføring af vedligeholdelse:

At føre detaljerede logbøger over alle vedligeholdelsesaktiviteter er afgørende for at sikre en effektiv og pålidelig drift af 3D-printer. Her er vigtigheden af dokumentation og eksempler på, hvordan man opretter og vedligeholder en vedligeholdelseslog:

Vigtigheden af Dokumentation:

1. **Forudsigelse af fremtidige behov:**

- Ved at dokumentere og logge alle vedligeholdelsesaktiviteter kan du analysere trends og mønstre over tid. Dette giver mulighed for bedre forudsigelse af fremtidige behov for reparationer og vedligeholdelse.

2. **Fejlfinding og diagnostik:**

- En detaljeret vedligeholdelseslog kan være uvurderlig ved fejlfinding og diagnostik af problemer. Det giver mulighed for at spore tilbagevendende problemer og identificere potentielle årsager.

3. **Historisk reference:**

- Logbøger fungerer som en historisk reference for 3D-printerens vedligeholdelseshistorie. Dette kan være nyttigt ved garantikrav, ved udskiftning af dele eller ved overvejelser om opgraderinger.

© AM Learning Lab 2024.

Eksempel på vedligeholdelseslog:

Dato og Tidspunkt	Fejl/hændelse	Udbedrende handling	Initialer
Start med at notere dato og tidspunkt for hver vedligeholdelsesaktivitet. Dette giver mulighed for nøjagtig sporing af tidspunkter for udførelse og hyppighed af vedligeholdelse.	Angiv en detaljeret beskrivelse af fejlen / hændelsen	Angiv en detaljeret beskrivelse af den udførte vedligeholdelsesaktivitet, herunder rengøring, justeringer, udskiftning af dele osv. Skriv ned eventuelle observerede resultater eller bemærkninger under vedligeholdelsesaktiviteten. Dette kan omfatte fundne problemer, forebyggende handlinger eller anbefalinger til fremtidige forbedringer.	Anvendelse af en underskrift eller initialer fra den person, der udførte vedligeholdelsesaktiviteten, giver ansvarlighed og muliggør yderligere spørgsmål eller opfølgning om nødvendigt.

Sikkerhedsprocedurer under Vedligeholdelse:

Det er af afgørende betydning at overholde sikkerhedsforanstaltninger under vedligeholdelsesarbejde for at sikre både personel og udstyrs sikkerhed. Før man påbegynder vedligeholdelsesarbejde, er det vigtigt at slukke for strømkilden til 3D-printeren for at undgå risikoen for elektrisk stød. Hvis det er relevant, skal maskinen låses og mærkes korrekt i henhold til virksomhedens sikkerhedsprocedurer for at forhindre utilsigtet brug. Alle, der udfører vedligeholdelsesarbejde, bør være bekendt med de nødprocedurer, der er på plads, herunder placeringen af brandslukkere, førstehjælpsudstyr osv.

Når det kommer til brug af personligt beskyttelsesudstyr (PPE), bør alle involverede personer altid bære passende handsker og øjenbeskyttelse for at beskytte sig mod kemikalier og skarpe genstande under vedligeholdelsesarbejde. Hvis arbejdet indebærer brug af kemikalier eller udskillelse af skadelige dampe, skal åndedrætsværn anvendes for at forhindre indånding af farlige stoffer.

Når det handler om håndtering af kemikalier og værktøjer, er det vigtigt at opbevare kemikalier i sikre beholdere og følge producentens anvisninger for korrekt håndtering og bortskaffelse. Brug kun de nødvendige værktøjer til vedligeholdelsesarbejdet og vær opmærksom på korrekt brug for at undgå skader.

Opgave 5-1

I skal i grupper udarbejde en vedligeholdelsesplan og en logbog for den 3D-printer som I har til rådighed. Vedligeholdelsesplanen skal indeholde punkter for dagligt, månedligt og årligt vedligehold af 3D-printeren. Undersøg om producenten af 3D-printeren har en beskrivelse af hvad der skal foretages af vedligehold på printeren.

© AM Learning Lab 2024.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I har lært, at vedligeholdelse er afgørende for 3D-printerens levetid og printkvalitet. Regelmæssig vedligeholdelse forhindrer fejl og sikrer optimal funktion.

Typer af Vedligeholdelse

I har lært om forebyggende vedligeholdelse, som indebærer inspektion og rengøring for at forhindre problemer, korrigerende vedligeholdelse, der løser opståede problemer, og forudsætningsbaseret vedligeholdelse, som indebærer udskiftning og kalibrering baseret på specifikke betingelser.

Daglig og Ugentlig Vedligeholdelse

Daglig vedligeholdelse inkluderer rengøring af byggepladen, hvor I fjerner filamentrester og rengør med isopropylalkohol, samt kontrol af filamentet for knuder og korrekt indsætning. Ugentlig vedligeholdelse omfatter inspektion af bevægelige dele for slitage og smøring af føringer og spindler med fjernelse af overskydende smøremiddel.

Månedlig og Årlig Vedligeholdelse

Månedlig vedligeholdelse indebærer dyserengøring for at fjerne tilstopninger, opdatering af firmware og kontrol af elektriske forbindelser for slid og løse forbindelser. Årlig vedligeholdelse omfatter udskiftning af slidte dele som drivremme og varmelegemer samt kalibrering og justering af bevægelsessystemet.

Dokumentation og Sikkerhed

I har lært vigtigheden af at logføre vedligeholdelse for effektiv drift og fejlfinding. Det er vigtigt at følge sikkerhedsprocedurer ved at slukke strømmen før vedligeholdelse og bruge personligt beskyttelsesudstyr som handsker og øjenbeskyttelse.

© AM Learning Lab 2024.

06- Kvalitetsoptimering

Kvalitet spiller i dag en stor rolle når det kommer til industrielt 3D-print. Der er i stor grad behov for at kende til 3D printerens produktions tolerancer, og 3D-printerens evne til at overholde produktionstolerancerne efter længere tids drift. Overfladekvaliteten og formnøjagtigheden er også væsentlige områder at kunne sikre at de 3D-printede emner lever op til forventningerne.

Måden man kan sikre en ensartet kvalitet af ens 3D-printede er ud over det almindelige vedligehold, løbende justering/kalibrering af 3D printeren. 3D-printeren i sig selv består af en række føringer og gummibælter som flytter extruderen frem og tilbage over 3D-printerens byggeplade, disse gummibælter kan over tid blive slappe og derved fører til unøjagtigheder i 3D-printerens bevægelser som gør at 3D-printeren ikke længere overholder længde og bredde tolerancer. For at løse problemet vil gummibælterne skulle strammes op, eller skiftes hvis en stramning ikke er muligt.

Filament er ikke bare filament, der er en verden til forskel på kvaliteten af f.eks. af en billig PLA fra en ukendt producent, til en dyre PLA leveret af en anerkendt producent. De smelter og flyder nødvendigvis ikke ens, måske smelter de ikke hurtigt nok i forhold til 3D-printerens hastighed. Det kan skyldes rigtig mange ting og i mange tilfælde kan man faktisk gøre noget for at imødekomme plastens forskelligheder.

I det følgende afsnit vil man komme ind omkring hvilke muligheder der er for at justere, kalibrere og optimere ens 3D-printer til at yde optimalt.

Kalibrering og justering af 3D-printeren

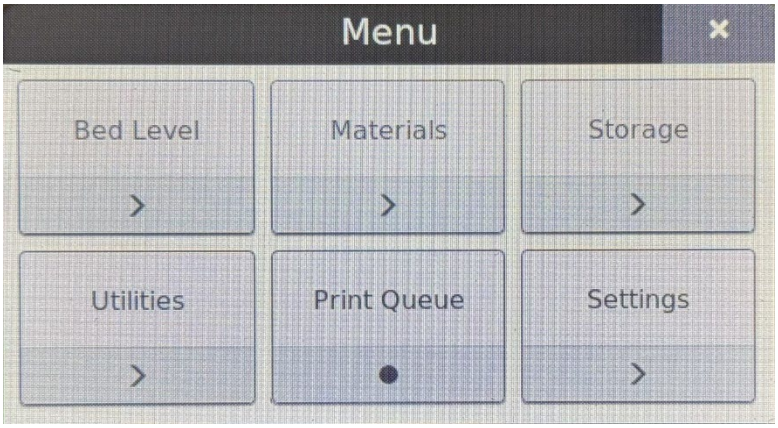
Bedleveling / justering af dyseaftand

Bedleveling eller justering af dyseafstand er en kritisk proces inden for FDM 3D-print, hvor nøjagtigheden af de printede lag og deres vedhæftning til byggepladen er afgørende. For at sikre optimale betingelser for printprocessen skal dyseafstanden justeres præcist. Dette indebærer typisk at finjustere afstanden mellem dyse og byggeplade på tværs af forskellige punkter på pladen. En korrekt justeret dyseafstand sikrer ensartet lagadskillelse, forhindrer tilstopning af dysen og bidrager til høj kvalitet og nøjagtighed i de færdige 3D-print.

Bedleveling eller justering af dyse afstanden sker på de fleste nye FDM-printere i dag automatisk når et 3D-print sættes i gang. På enkelte 3D-printere især af ældre dato, er det en manuel justerings proces som skal gennemgås. I eksemplet herunder kan man se hvordan manuel bedleveling foretages på en Markforged MarkTwo.

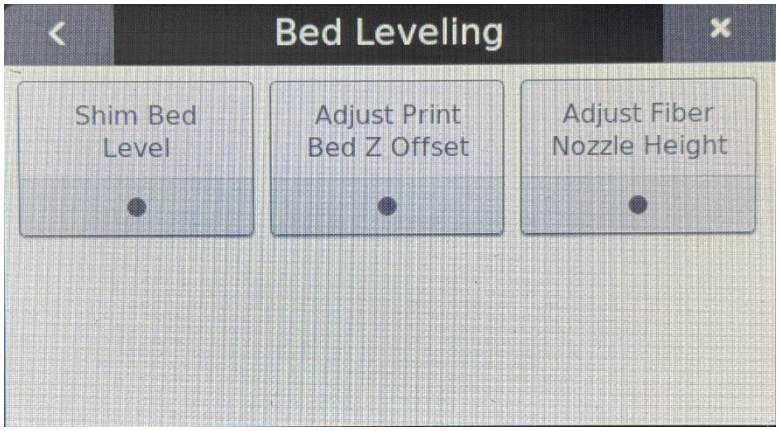
© AM Learning Lab 2024.

Start med at rengøre 3D-printerens byggeplade for plast- og limrester. Gå derefter ind i 3D-printerens menu og vælg Bed Level.

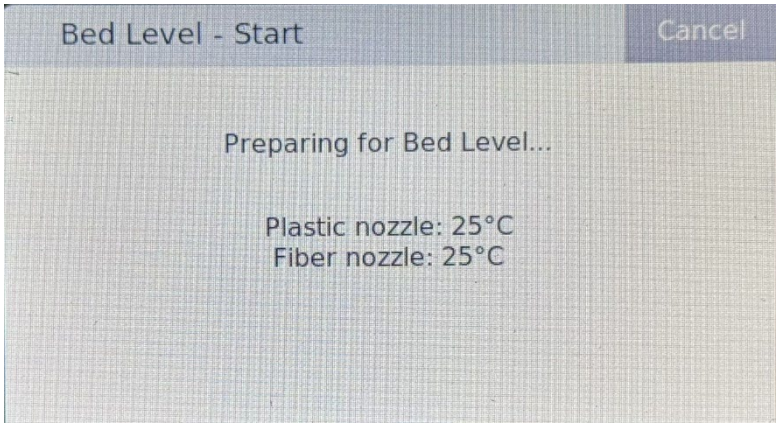


Vælg Shim Bed Level og find det Shim blad frem, hvor på der står Plastic Shim. (Følger med 3D-printeren)

Shim bladet er 0,102mm tykt og skal bruges til at sikre en afstand mellem printerens dyse (nozzle) og byggepladen.

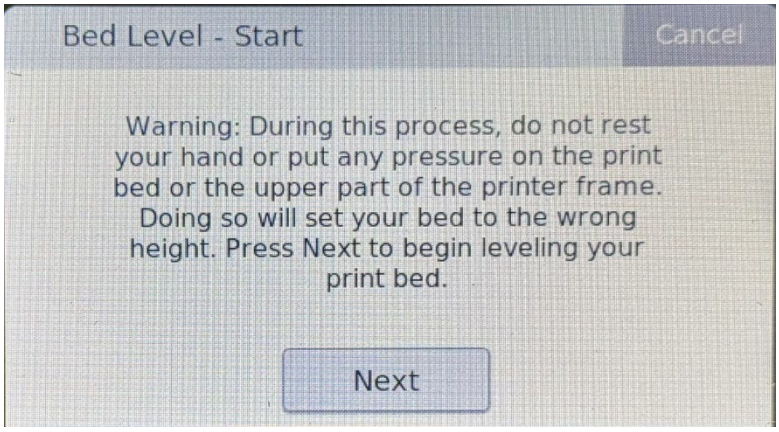


3D-printeren klargør nu sig selv.

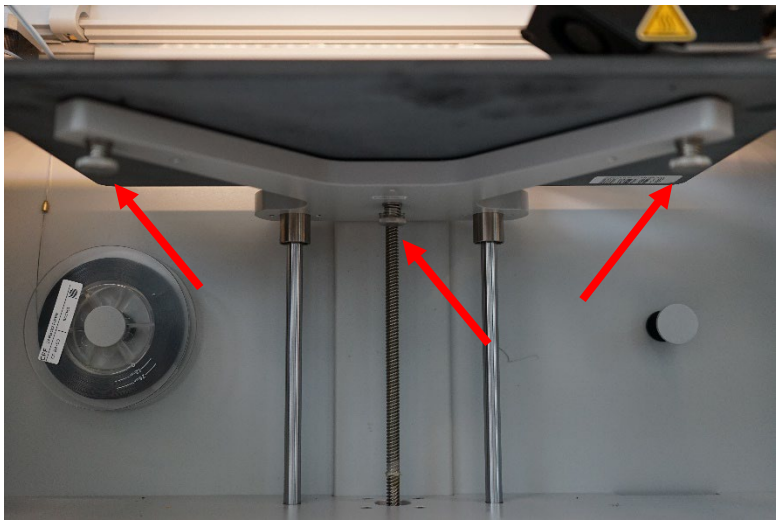


© AM Learning Lab 2024.

Under Bed Leveling processen er det vigtigt at man ikke kommer til at tilføre byggepladen vægt eller nogen anden kraftpåvirkninger, da det kan påvirke det endelige resultat af Bed Levelingen.

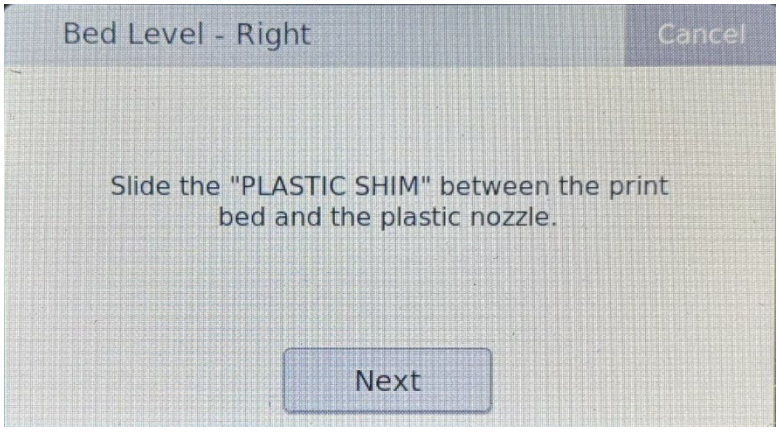


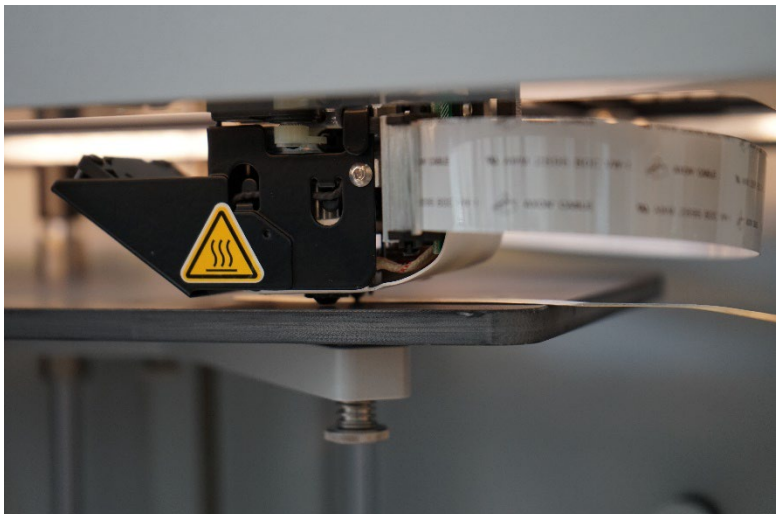
Inden justeringen påbegyndes skal de 3 justerskruer skrues helt i bund.



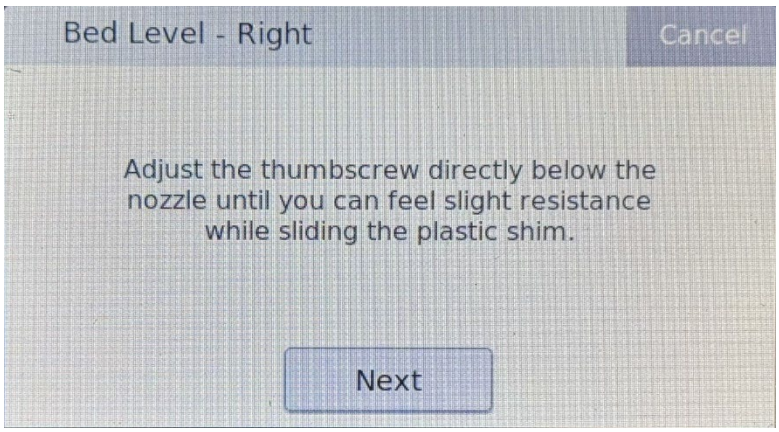
© AM Learning Lab 2024.

Shim bladet føres nu ind på byggepladen og der skrues på justerskruen lige under dysens position, indtil der mærkes let modstand i Shim bladet når denne flyttes frem og tilbage mellem dyse og byggeplade.



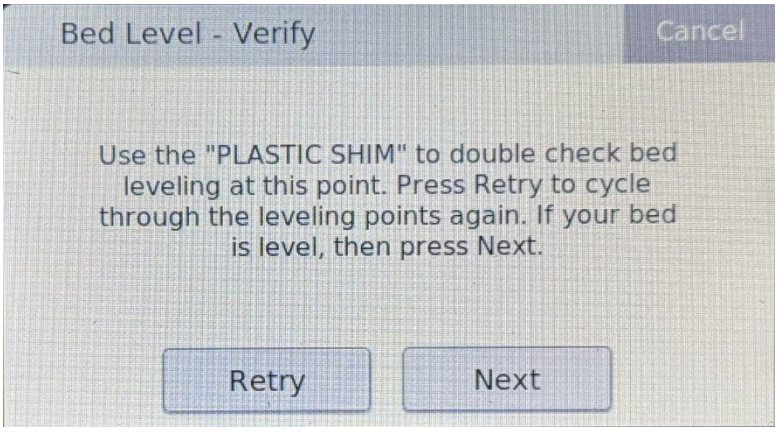


Når afstanden er justeret ved det første punkt, trykkes på next, og processen gentages ved næste punkt. Dette gøres for de resterende punkter.



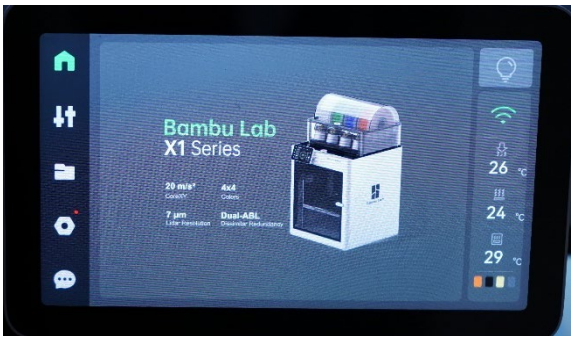
© AM Learning Lab 2024.

Når alle 3 punkter er justeret op, kontrolleres disse en sidste gang med Shim bladet ved at trykke Retry.
Det er altid en god ide at dobbelt checke ved manuel justering, da der er en risiko for at 3D-printeren giver sig lidt under justeringen af de 3 punkter.
Hvis man har en MarkTwo fra Markforged skal fiberdysens højde justeres efterfølgende, med den til fiberdysen hørende Shim blad.
Når alle punkter er justeret og afstanden mellem dyse og byggepladen er ensartet, kan justeringsprocessen afsluttes.

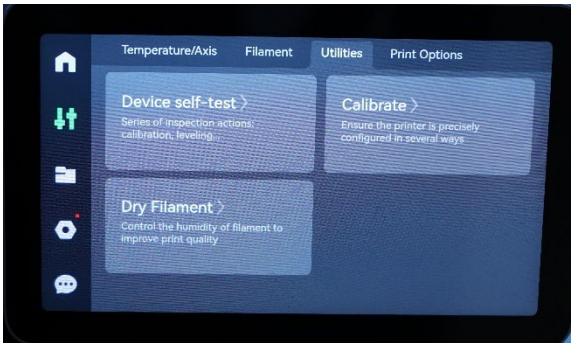


I det følgende eksempel kan man se hvordan automatisk bedleveling sker på en Bambu Lab X1.

Tænd 3D-printeren, sikre dig at 3D-printerens byggeplade er ren og monteret korrekt.

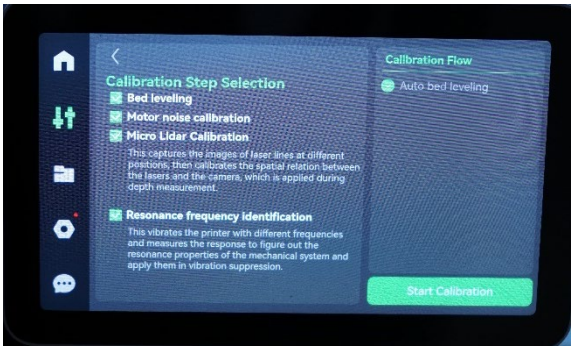


Klik på indstillinger menuen og vælg fanen Utilities.
Tryk på Calibrate

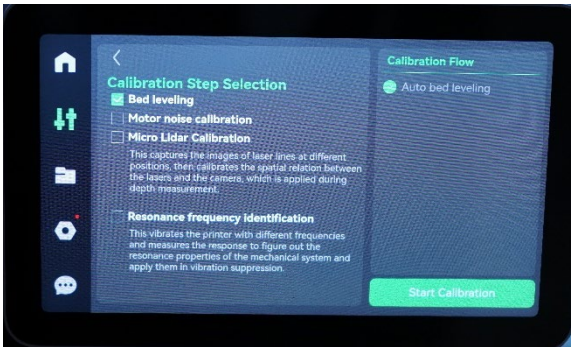


© AM Learning Lab 2024.

Calibration menuen giver mulighed for Bed leveling, Motor noise calibration, Micro Lidar Calibration og Resonance frequency identification på en Bambu Lab X1.



Fravælg alle punkter undtaget Bed leveling, og tryk Start Calibration.



3D-printeren går nu i gang og måler højdedifferencen på 36 punkter i et kvadratisk mønster på byggepladen. Når byggepladen er målt op, kompensere 3D-printerens software for højdedifferencen

Se hvordan en automatisk Bed leveling foregår:

https://youtu.be/SNJVTttoppA

Bed leveling er nu færdig. Tryk confirm for at afslutte.



© AM Learning Lab 2024.

Justering af gummibælter i XY-akserne

Langt de fleste mindre FDM-printere der findes på markedet, bruger gummibælte/tandremme til at drive X og Y akserne på 3D-printerne, og det sker over tid at gummibælterne bliver slappe eller slidt op og skal skiftes.

Se hvordan justering af gummibælterne udføres på en Bambu Lab X1:

https://youtu.be/Ibjj0RKWHoE?si=ii79LNc3uymJFWx8

Hvordan kontrollerer man om gummibælterne er stramme nok?

Først løsnes gummibæltet, indtil den springer over, når du holder motorens remskive med den ene hånd og bevæger ekstruderen med den anden. Anvend ikke for meget kraft, kun så meget som man ville forvente, at motoren skaber. Stram derefter gummibæltet en smule og kontroller igen, om gummibæltet springer over. Hvis den gør, gentag indtil den ikke gør. Man kan også købe et apparat som kan måle gummibælternes resonans (svingninger i hertz) og ved hjælp af producentens anbefalinger måle om gummibælterne har den korrekte stramhed.

Nogle producenter af 3D-printere har udviklet systemer der selv sørger for at holde gummibæltet korrekt spændt. Bambu Lab er en af dem. Skan QR koden og se hvordan det foregår.

Korrekt spænding på gummibælterne i X- og Y-akserne har en afgørende betydning for 3D-printerens præcision og pålidelighed. Her er nogle af de vigtigste grunde til, hvorfor det er vigtigt:

1. Præcision i bevægelser:

Korrekt spændte gummibælter sikrer, at printerhovedet bevæger sig præcist i henhold til de kommandoer, som kommer fra 3D-printerens software. For løse gummibælter kan resultere i unøjagtige bevægelser og forkerte positioner, hvilket vil påvirke 3D-printerens nøjagtighed.

2. Printkvalitet og slitage på komponenter:

Med den rigtige spænding opnår man en højere printkvalitet. Løse remme kan føre til forskydninger (shift) i 3D-printet, vibrationer og ujævne overflader, mens for stramme remme kan skabe overbelastning på motorerne og mekanikken, hvilket også kan forringe printkvaliteten.

3. Konsistens:

Korrekt spænding sikrer konsistente printresultater. Hvis spændingen varierer, kan forskellige dele af samme print eller forskellige print udføres med varierende kvalitet, hvilket ikke er ønskeligt, især i professionelle eller produktionsmiljøer.

4. Hastighed:

En korrekt spændt gummibælter tillader printeren at bevæge sig med højere hastighed uden at miste præcision. Dette betyder, at man kan opnå hurtigere printtider uden at gå på kompromis med kvaliteten.

© AM Learning Lab 2024.

I det hele taget er det vigtigt regelmæssigt at kontrollere og justere gummibælterne på en 3D-printer for at sikre, at de har den rette spænding. Dette vil optimere printerens ydeevne og levetid, samt sikre, at de 3D-print, der produceres, er af høj kvalitet og nøjagtige.

Optimering af filamentets parameter i forhold til den enkelte 3D printer

Flow Dynamics Calibration

Hvad er Flow Dynamics Calibration?

Fra fluidmekanikken ved man, at når en newtonsk væske flyder gennem et hul, kræver det tryk, og trykket er proportionalt med flowhastigheden.

Da filamentet ikke er en fast masse, vil det blive komprimeret for at skabe tryk, når ekstruderen begynder at extrudere. Kompressionsprocessen vil forsinke responsen af det reelle flow, da ekstruderen kun leverer den mængde filament, der skal extruderes, intet ekstra.

Kort uddybning fluidmekanik og newtonsk væske

Når en væske (som vand) flyder gennem et hul eller en rør, kræver det tryk for at bevæge sig. Dette tryk afhænger af, hvor hurtigt væsken flyder. Jo hurtigere væsken skal flyde, jo mere tryk skal der til. Det betyder, at trykket og flowhastigheden (hvor hurtigt væsken flyder) er proportional med hinanden.

Tænk på det som en vandslange: Hvis du vil have mere vand ud af slangen (højere flowhastighed), skal du skrue mere op for vandhanen (øge trykket).

Man har derfor implementeret flowdynamisk kontrol i Bambu Studio for at løse problemet, svarende til "Pressure advance" i Klipper eller "Linear advance" i Marlin, med lidt ikke-lineær effektkompensation tilføjet. Når der udføres en flowrate-kommando, vil printeren foretage en hurtig ekstra extrusion for at generere trykket så hurtigt som muligt, så flowets respons kan følge værktøjets bevægelser.

Men hvor meget "ekstra" extrusion er nødvendig for et specifikt filament? Da forskellige filamenter har forskellig stivhed og viskositet, vil forskellige filamenter under en bestemt flowrate kræve forskellige mængder. Derfor er flow dynamics kalibrering nødvendig.

Tidligere udførte man kalibreringen før hver 3D-print, men der opstod nogle problemer:

1. Hvis en nye bruger af 3D-printeren anvender samme filament som før, vil 3D-printeren stadig udføre kalibreringen (medmindre brugeren annullerer den manuelt), hvilket koster tid og plads på 3D-printerens byggeplade.

2. Ved multicolor eller multimateriale udskrivning kalibrerer 3D-printeren kun det første printfilament og bruger parameteren til hele printet, hvilket muligvis ikke er ideelt for andre filamenter.

Hvornår skal man udføre Flow Dynamics Calibration?

Bambu Lab har nu tilføjet automatisk kalibrering for forskellige filamenter, som er fuldt automatiseret, og resultatet gemmes i printeren til fremtidig brug. Kalibreringen kan også foregå manuelt i Bambu Studio, så kalibreringen også kan anvendes på 3D-printere fra andre producenter. I følgende tilfælde skal man udføre kalibreringen:

© AM Learning Lab 2024.

1. Hvis man introducerer et nyt filament af forskellige mærker eller modeller;

2. Hvis dysen er slidt, da friktionen i dysen vil ændre sig;

3. Hvis man udskifter en dyse, da der er tolerance i fremstillingen;

4. Hvis filamentet er fugtigt. Fugt vil ændre viskositeten af filamentet;

5. Hvis den maksimale volumetriske hastighed eller printtemperaturen ændres i filamentparametrene.

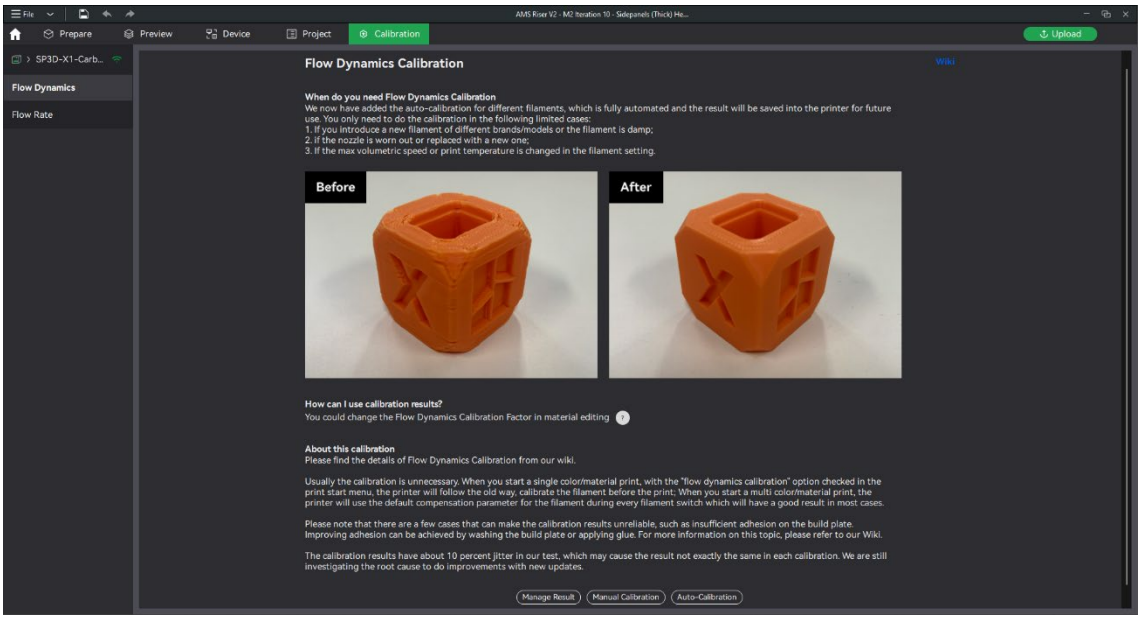
Hvad hvis man ikke udfører kalibreringen?

Der er to scenarier:

1. Man starter en enkeltfarvet/enkeltmateriale 3D-print, hvis "Dynamic Flow Calibration" er markeret i startmenuen. I dette tilfælde kalibrerer printeren flowet før udskrivning som før. Hvis "Dynamic Flow Calibration" ikke er markeret, vil den bruge standard ekstrusionskompensationsparametre. I de fleste tilfælde kan man med standardparametrene også opnå gode udskrivningsresultater.

2. Man starter en multifarvet/materiale udskrivning. I dette tilfælde vil printeren under hver filamentudskiftning bruge standard ekstrusionskompensationsparametre for ukalibrerede materialer.

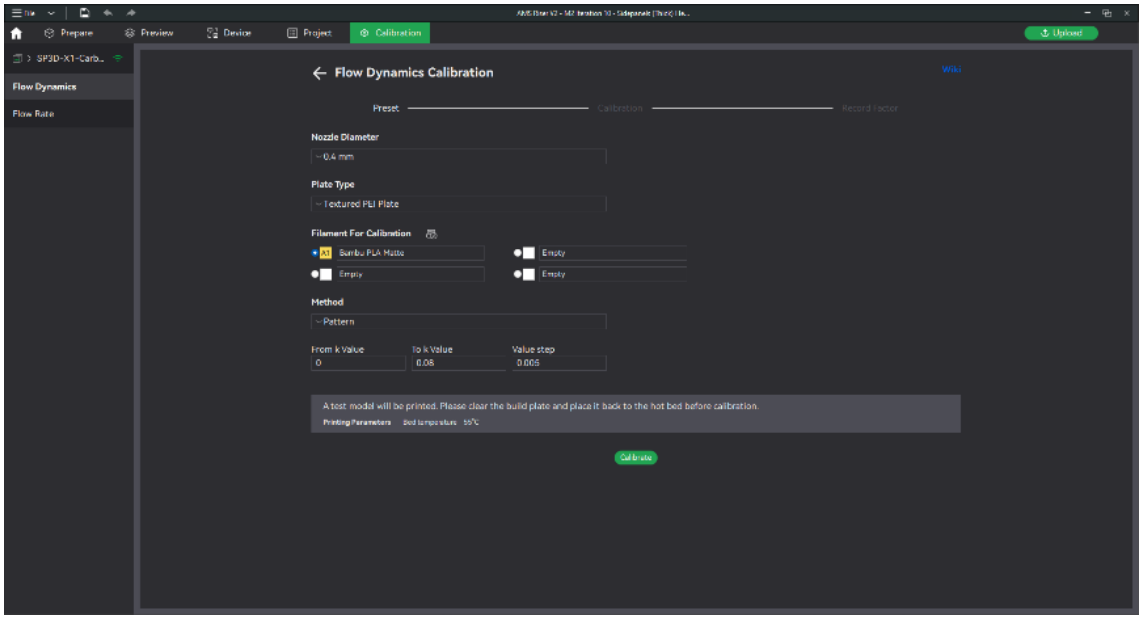
Sådan udfører man en manuel Flow Dynamics Calibration:



Start med at åbne Bambu Studio, og vælg fanebladet Calibration, i venstre side af skærmen vælges derefter Flow Dynamics.

© AM Learning Lab 2024.

Tryk nu på Manual Calibration.

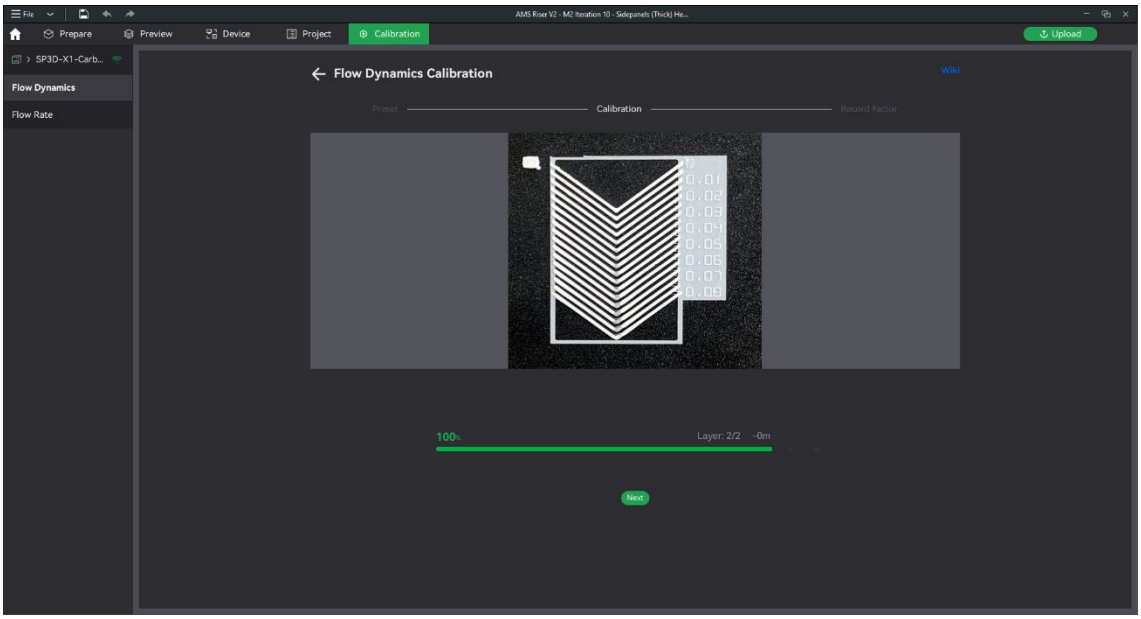


Bambu Studio skal nu have nogle oplysninger om hvilken dyse og byggeplade der er monteret i 3D-printeren, derudover skal der oplyses hvilken filament man ønsker at lave kalibreringen ud fra.

Der skal også oplyses hvilket metode man ønsker at gøre brug af i forbindelse med kalibreringen. Her er Line Metod det foretrukne valg, da den er nemmest at analysere.

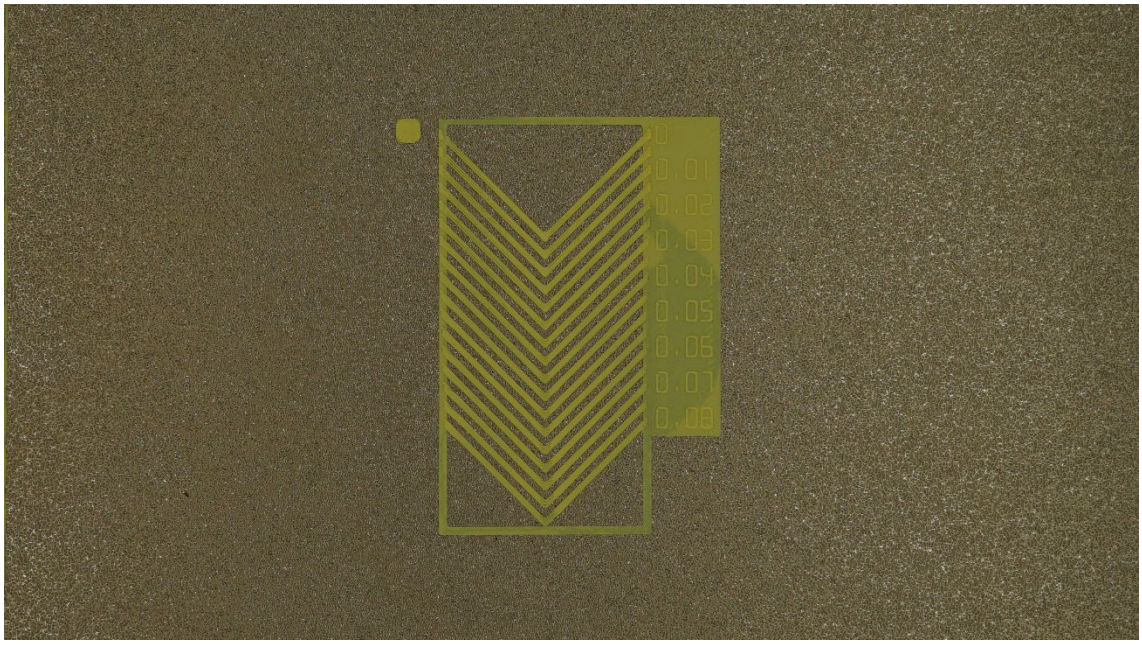
Til sidst skal From/To k value indstilles. Her er et spænd fra 0 til 0.08 det foretrukne valg.

Tryk på Calibrate når alle oplysninger er indtastet.



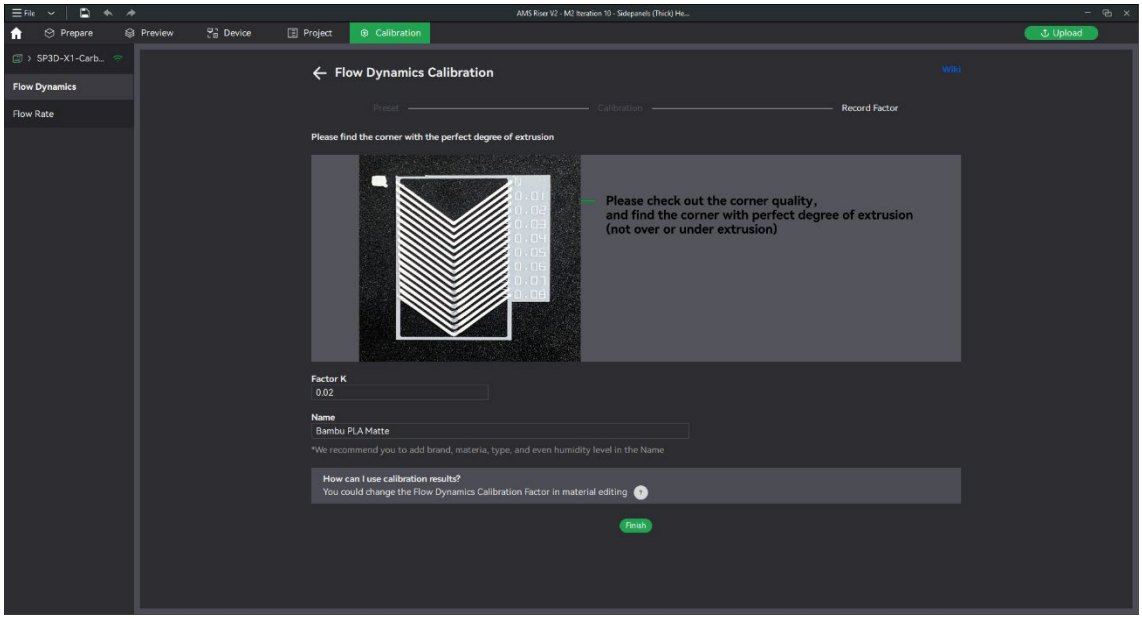
Bambu Studio sender nu et print til den valgte 3D-printer. Når printet er færdigt tages byggepladen ud af 3D-printeren, og der klikkes på Next.

© AM Learning Lab 2024.



Nu skal K værdien findes, der sker ved at finde en linje som har det mest skarpe hjørne. I eksemplet på billedet herover vil det være fjerde linje fra toppen. Det giver en K værdi på 0.015.

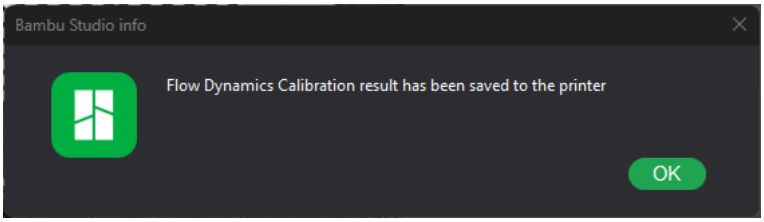
Havde det været linjen før ville K værdien have været 0.01.



Indtast K værdien i feltet Factor K. I feltet Name indtastes navnet på den filamenttype som K værdien tilhører.

© AM Learning Lab 2024.

Klik på Finish knappen for at afslutte.



Resultatet er nu gemt i den pågældendes 3D-printers profil i Bambu Studio.

Flow Rate Calibration

Om denne kalibrering

Flow Rate Calibration måler forholdet mellem forventede og faktiske ekstrusionsvolumener. Dette forhold er normalt stabilt, og standardindstillingen fungerer godt i prækalibrerede og finjusterede printere og officielle filamenter. For et almindeligt filament vil man normalt ikke have brug for at udføre en Flow Rate Calibration.

Flow Rate Calibration er en avanceret proces, som kun bør udføres af dem, der fuldt ud forstår dens formål og implikationer. Forkert brug kan føre til dårlige 3D-print eller skade på printeren. Derfor er det vigtigt at læse og forstå processen, før man udfører den.

Hvornår du har brug for Flow Rate Calibration

Optimering af 3D-print indebærer flere kalibreringstrin, der skal implementeres korrekt, før du overvejer Flow Calibration. Ikke alle fejl i 3D-printede objekter skyldes unøjagtige flowrater. Faktisk, når man bruger industrielle 3D-printere og filamenter fra anerkendte producenter, er de mekaniske tolerancer minimale og filamentstandarden ekstremt høj. Derfor kan eventuelle fejl i de 3D-printede dele skyldes andre kalibreringsaspekter, der skal adresseres.

Hvis man bemærker følgende tegn i dine 3D-udskrifter og allerede har udført andre kalibreringer, såsom Flow Dynamics Calibration, men problemerne stadig vedvarer, kan det være tid til at overveje en Flow Rate Calibration:

1. Over-Ekstrudering: Hvis man ser overskydende materiale på ens printede dele, der danner klumper eller pletter, eller lagene virker for tykke, kan det være et tegn på over-ekstrudering.

2. Under-Ekstrudering: Dette er det modsatte af over-ekstrudering. Tegn inkluderer manglende lag, svag infill eller huller i printet. Dette kan betyde, at ens 3D-printer ikke ekstruderer nok filament.

3. Dårlig Overfladekvalitet: Hvis overfladen på ens udskrifter virker ru eller ujævn, kan dette skyldes en forkert flowrate.

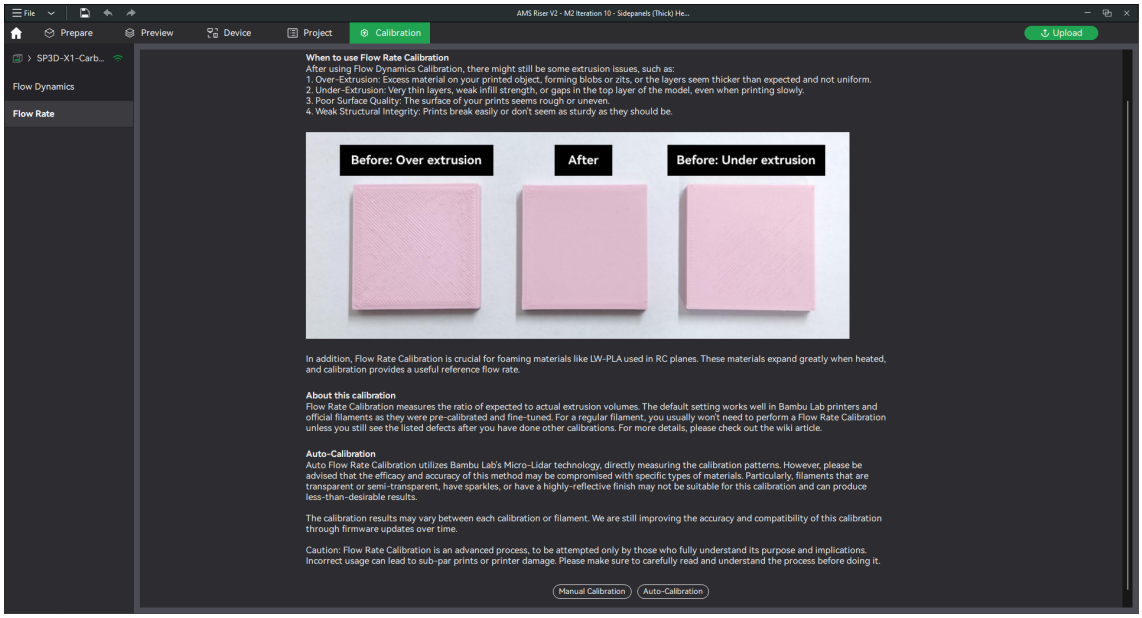
4. Svag Strukturintegritet: Hvis ens 3D-print let går i stykker eller ikke virker så solide, som de burde, kan dette skyldes under-ekstrudering eller dårlig lagvedhæftning, hvilket kan forbedres ved flow rate kalibrering.

Ud over at rette de nævnte 3D-printfejl er Flow Rate Calibration være afgørende for at kunne 3D-printe i skummaterialer som LW-PLA, der bruges i RC-fly. Disse materialer udvider sig kraftigt, når de opvarmes, og

© AM Learning Lab 2024.

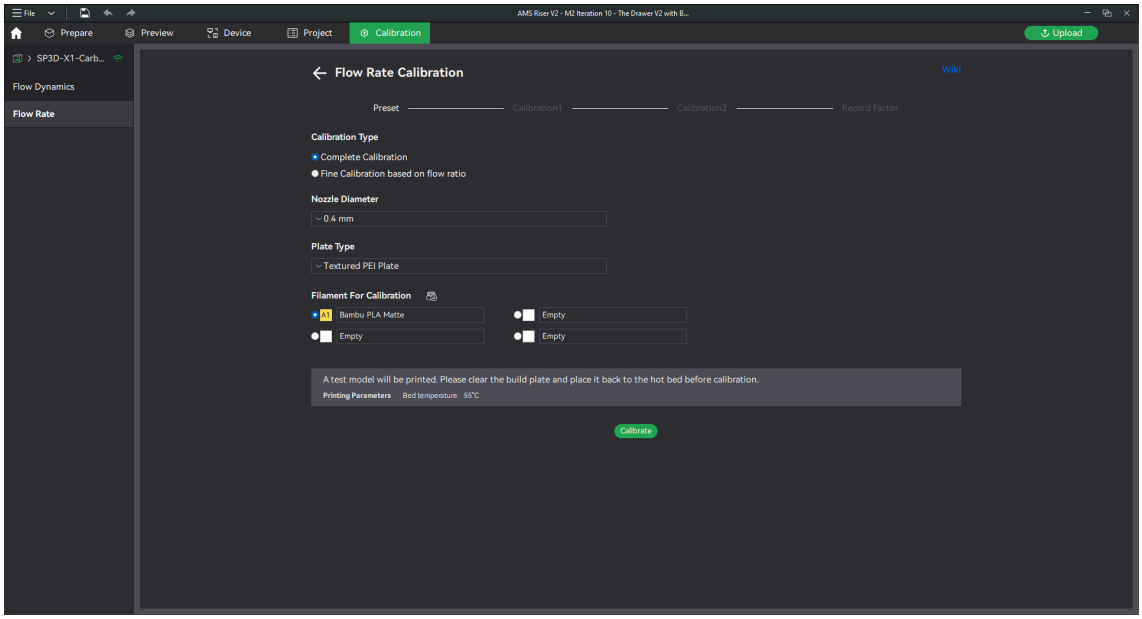
kalibrering giver en nyttig reference-flowrate for at opnå gode udskrivningsresultater med disse specielle filamenter.

Sådan gør man i Bambu Studio:



Start med at åbne Bambu Studio, og vælg fanebladet Calibration, i venstre side af skærmen vælges derefter Flow Rate.

Tryk nu på Manual Calibration.

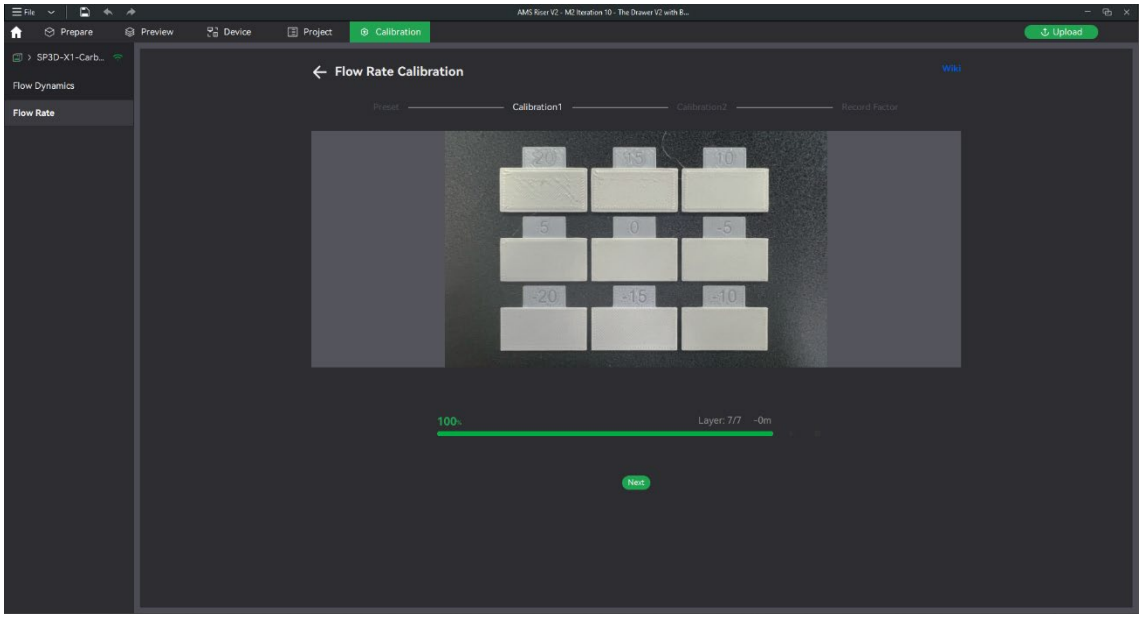


Bambu Studio skal nu have nogle oplysninger om hvilken dyse og byggeplade der er monteret i 3D-printeren, derudover skal der oplyses hvilken filament man ønsker at lave kalibreringen ud fra.

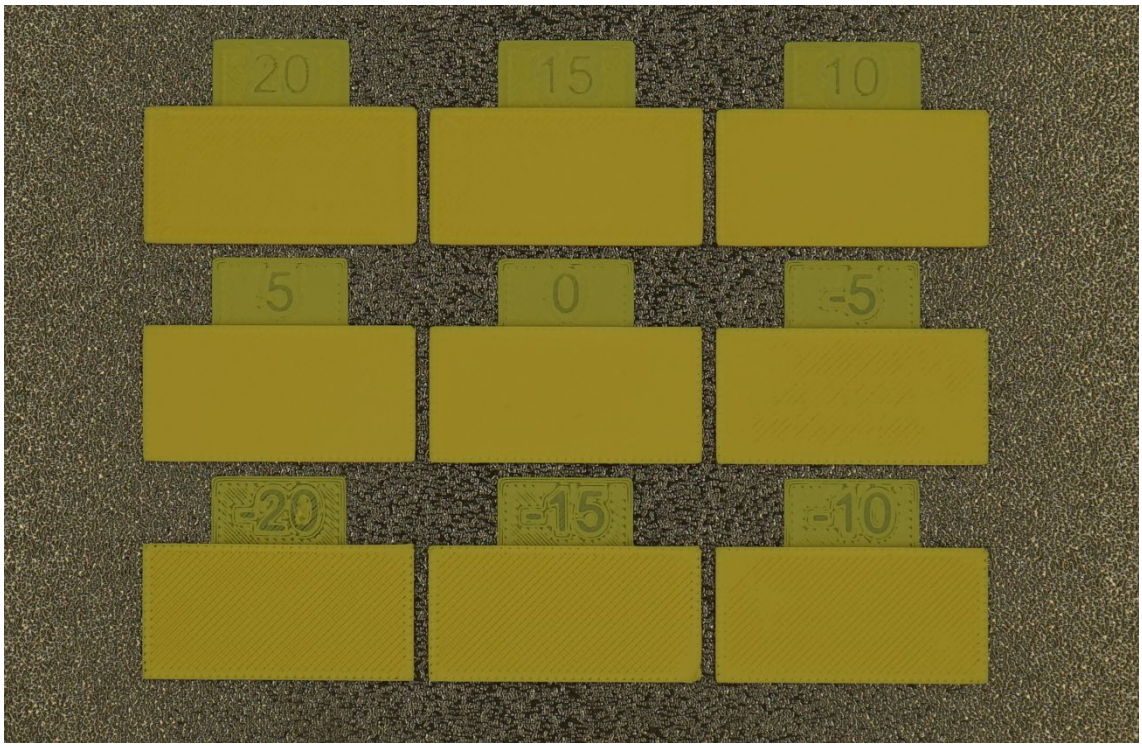
© AM Learning Lab 2024.

Der skal også oplyses hvilken Calibration Type man ønsker at gøre brug af. Her vælges Complete Calibration.

Tryk på Calibrate når alle oplysninger er indtastet.

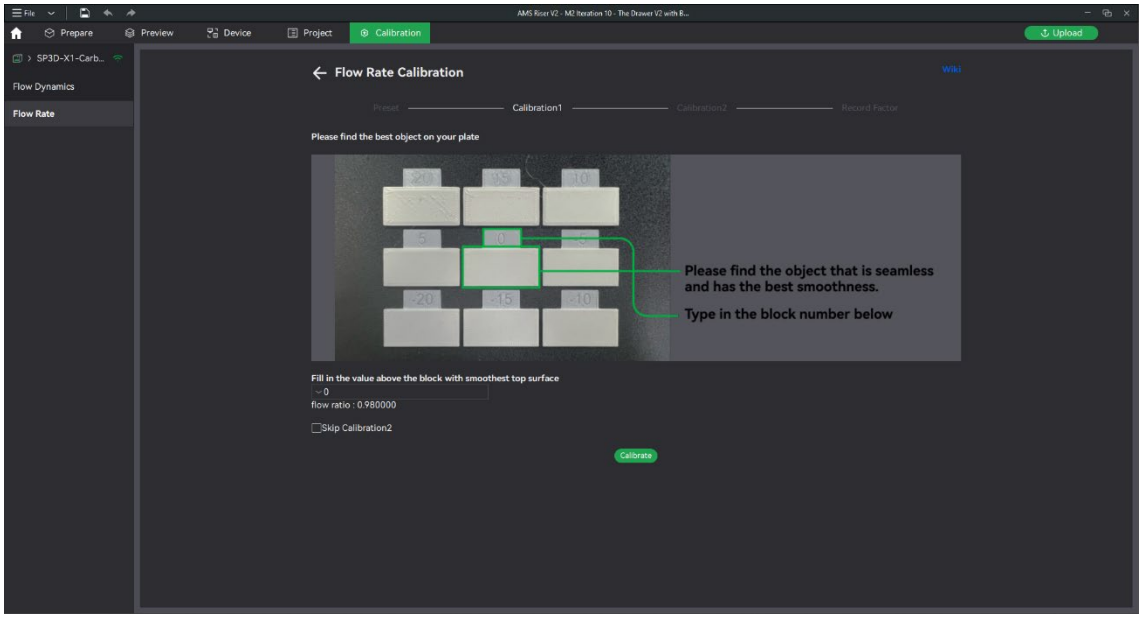


Bambu Studio sender nu et print til den valgte 3D-printer. Når printet er færdigt tages byggepladen ud af 3D-printeren, og der klikkes på Next.

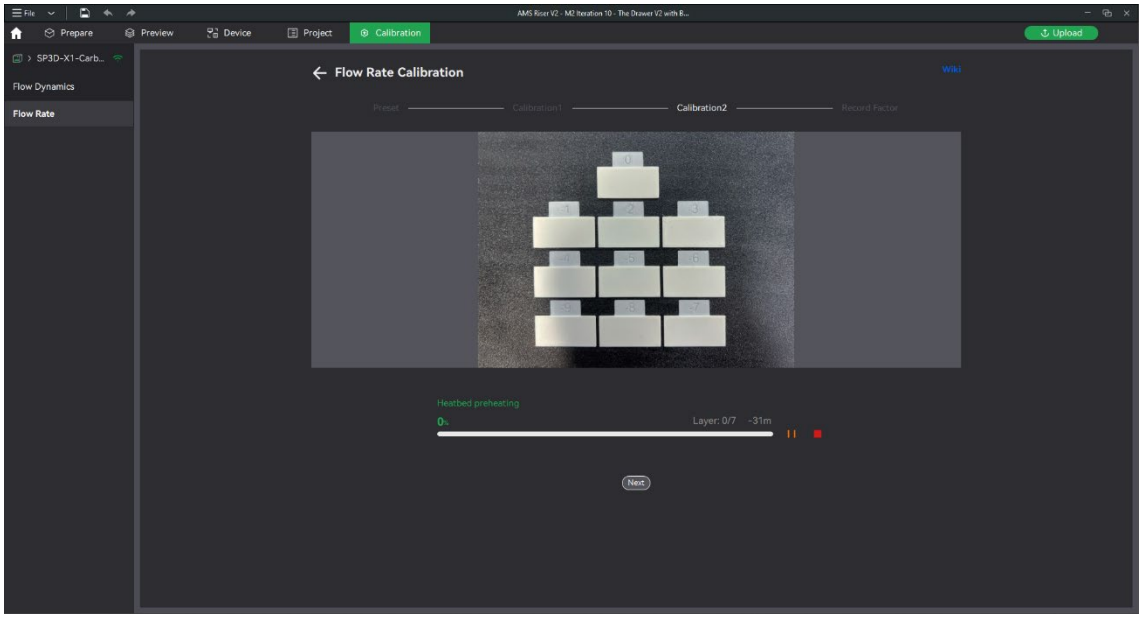


© AM Learning Lab 2024.

Nu skal det emne som har den tætteste/fineste overflade findes. I dette tilfælde er det 0 som er den fineste overflade

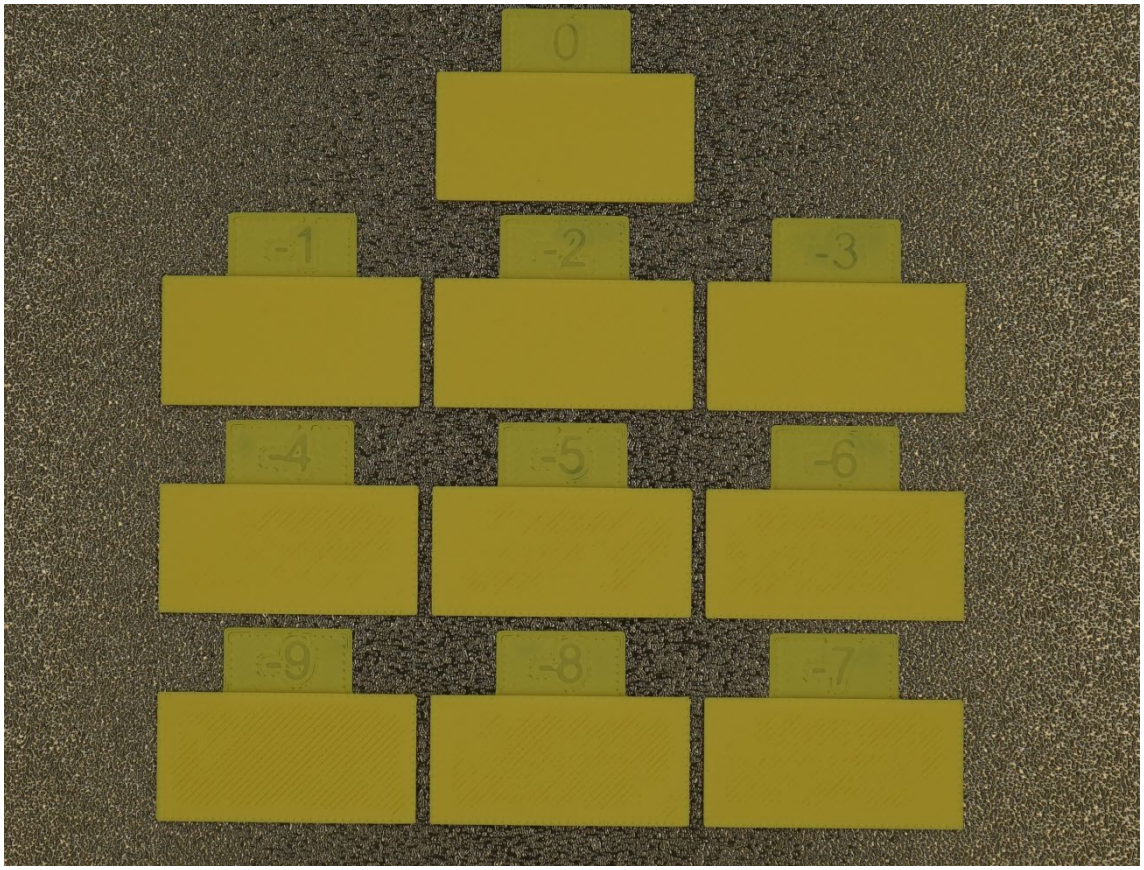


Vælg værdien 0 i drop-down menuen og tryk på Calibrate for at forsætte.

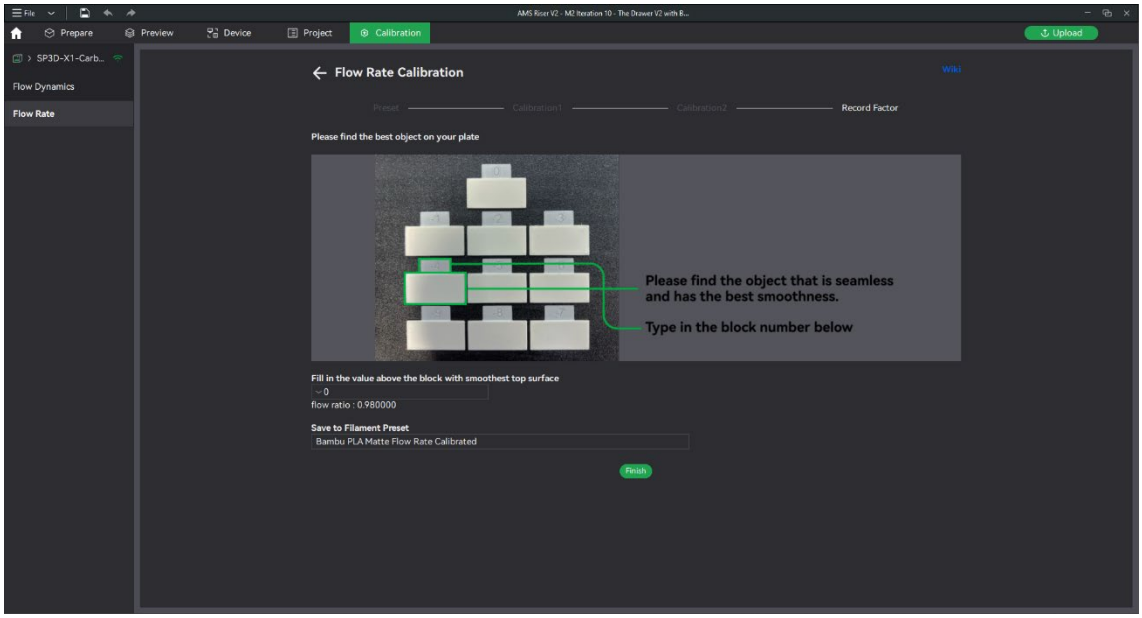


Bambu Studio sender nu et nyt print til den valgte 3D-printer. Når printet er færdigt tages byggepladen ud af 3D-printeren, og der klikkes på Next.

© AM Learning Lab 2024.



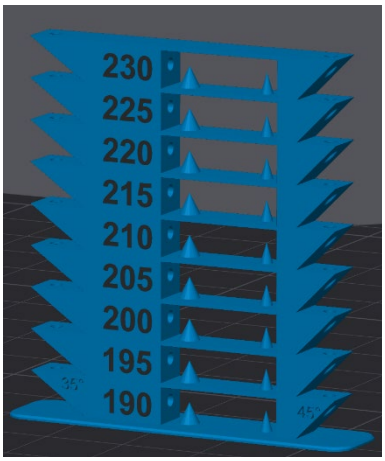
Nu skal det emne som har den tætteste/fineste overflade findes. I dette tilfælde er det igen 0 som er den fineste overflade



Vælg værdien 0 i drop-down menuen, navngiv filamentparameteret og tryk på Finish for at gemme og afslutte

© AM Learning Lab 2024.

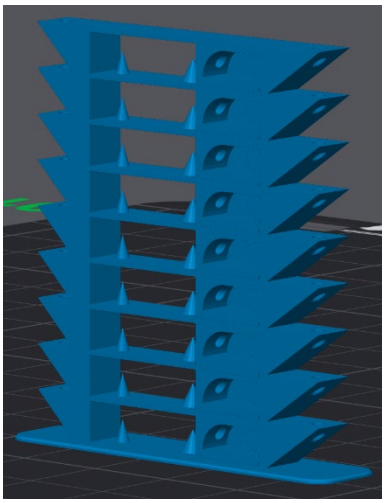
Temperatur kalibrering



Når man køber en rulle filament følger der som hovedregel nogle temperaturanvisninger med, som fortæller hvilket temperaturspænd man skal ligge inden for på Hotend og på Bed. Det kunne f.eks. være at man få at vide at en PLA-filament performer bedst imellem 190-220 grader.

Ved hvilken temperatur starter man så? og hvor stort et spring skal man tage mellem de forskellige forsøg? Og hvilket emne tester man på? Spørgsmålene er mange, og der er ofte ikke meget hjælp at hente fra producenterne af 3D-printerne eller filament.

Årsagen til består i at ikke alle 3D-printere er ens, de består af forskelligt hardware og det funktionelle design er forskelligt. Derfor er producenterne tvunget til at komme med et vejledende temperaturspænd, som giver brugeren en ide om hvor man skal starte. Men vejen til at finde den helt rigtige temperatur til Hotenden kan være lang hvis man ikke har et hjælperedskab at arbejde med.



Heldigvis er der mange brugere af 3D-printere som er villige til at dele deres ideer til hvordan problemet skal løses, og en at de mest populære løsninger til hvordan den korrekte Hotend temperatur skal findes er et Temp Tower. (Se billederne til højre)

Et Temp Tower til PLA-filament består en 3D model som gentager sin egen form oven på hinanden 9 gange i træk. Og hvor på at der for hver gentagelse er angivet en temperatur startende ved 190 grader og herefter med 5 graders spring.

Ideen med Temp Tower er at man printer tårnet startende med 190 grader på Hotenden, øger temperaturen med 5 grader på Hotenden for hver gang en ny gentagelse af modellen begynder.

I sig selv er det ikke noget problem at printe Temp Tower modellen, men når det kommer til at øge temperaturen trin for trin bliver det hele lidt mere vanskeligt. De forskellige Slicer software er nemlig ikke forberedt til denne øvelse, og det kræver derfor at man indsætter en costume g-code for at det kan lykkes.

I det følgende eksempel kan man se hvordan man klargøre et Temp Tower til 3D-print i Bambu Studio.

Start med at åbne Bambu Studio og importere filen PLA Temp Tower. Vælg hvilken printer der skal printe

Costume G-code til PLA Temp Tower:

{if layer_num==0} M104 S190{endif};

{if layer_num==28} M104 S195{endif};

{if layer_num==53} M104 S200{endif};

{if layer_num==78} M104 S205{endif};

{if layer_num==103} M104 S210{endif};

{if layer_num==128} M104 S215{endif};

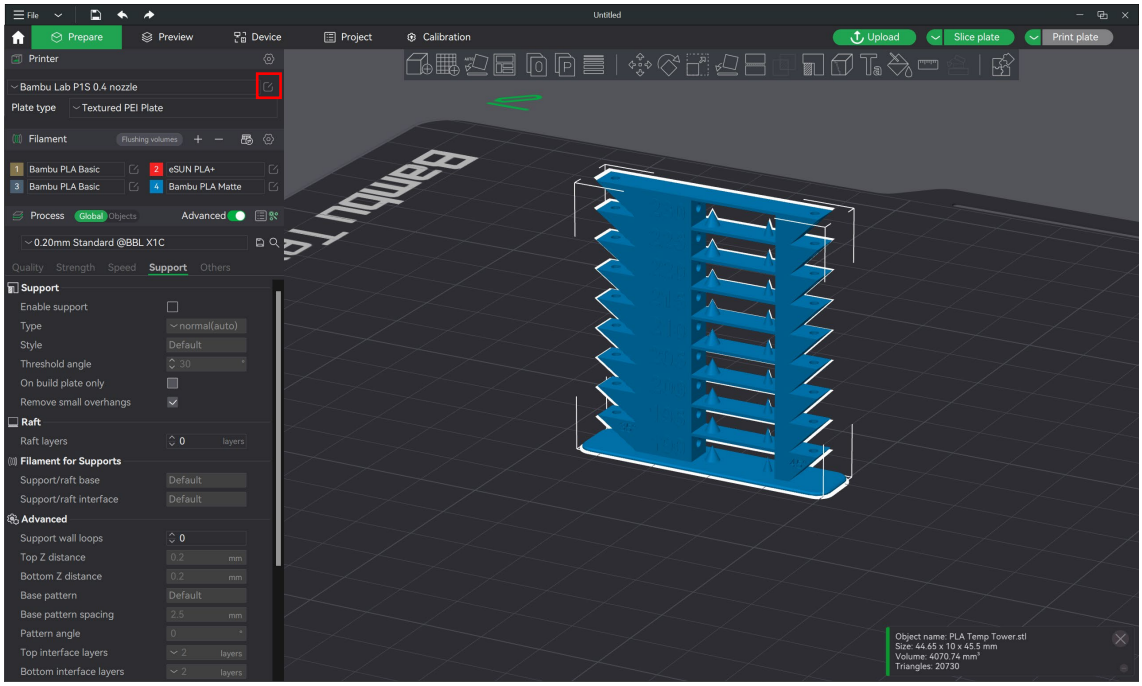
{if layer_num==153} M104 S220{endif};

{if layer_num==178} M104 S225{endif};

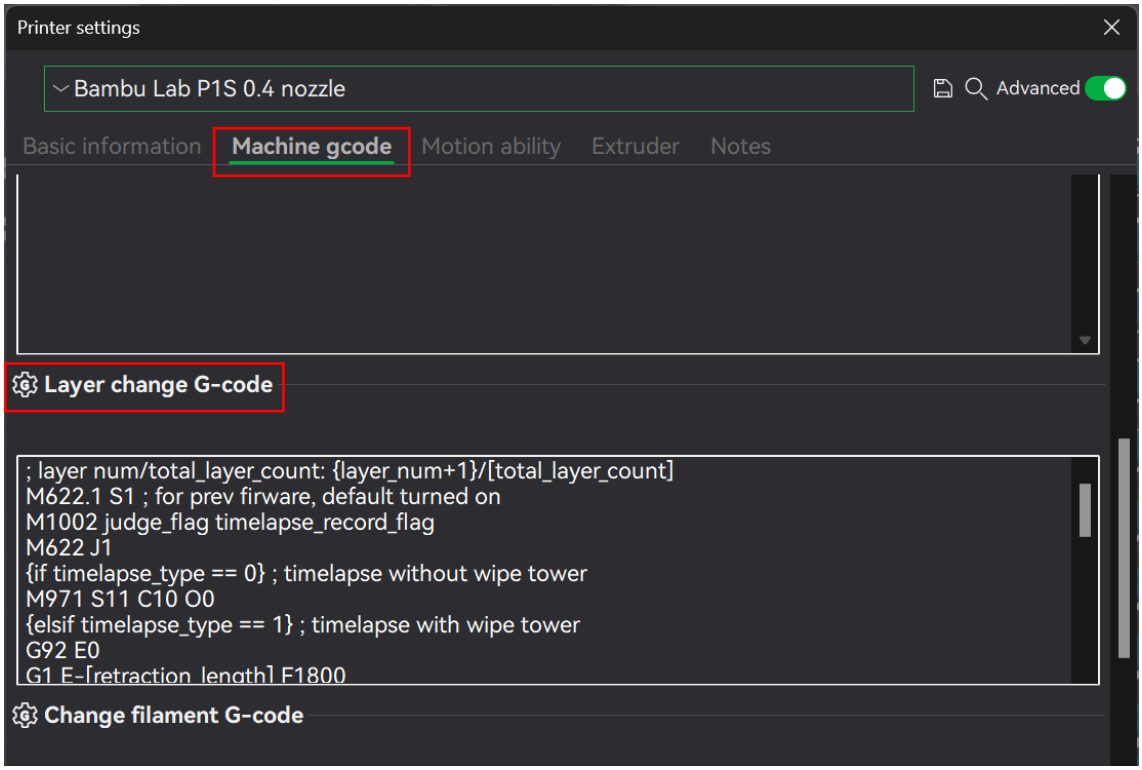
{if layer_num==203} M104 S230{endif};

© AM Learning Lab 2024.

PLA Temp Tower og angiv byggeplade og hvilket filament (PLA) der bruges. Lagtykkelsen sættes til **0.2mm Standard**.

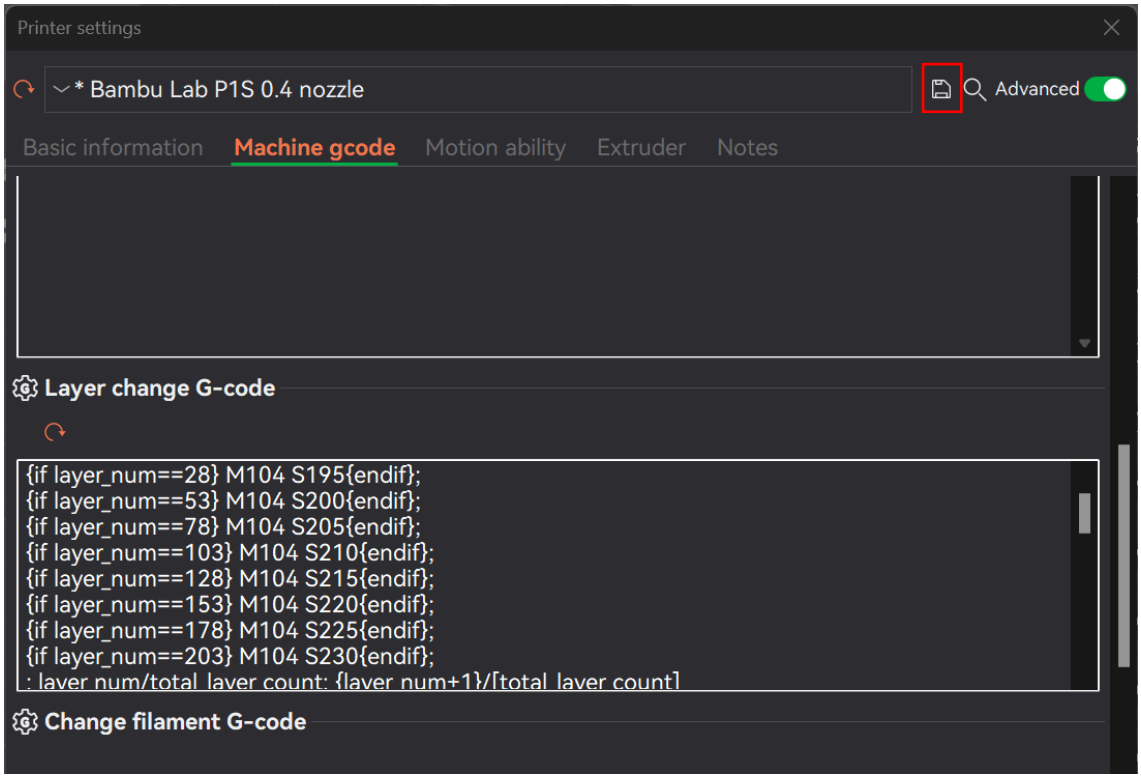


Nu skal g-code stykket indsættes, det gøres ved at klikke på ikonet markeret med den røde firkant.



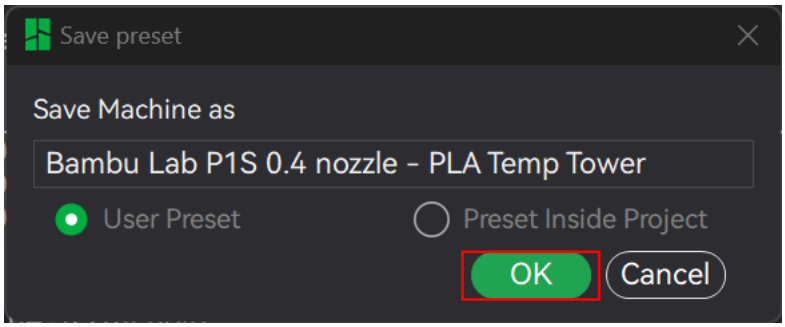
Dialogen Printer settings åbner, og fanen Machine g-code vælges. Scroll ned til punktet Layer change G-code.

© AM Learning Lab 2024.



Kopier Costume G-code til PLA Temp Tower ind ovenover de allerede eksisterende G-codes, som vist ovenfor. Tryk der efter på Save ikonet for at gemme de nye Printer Settings.

VIGTIGT! SLET IKKE DE EKSISTERENDE KODE STYKKER!

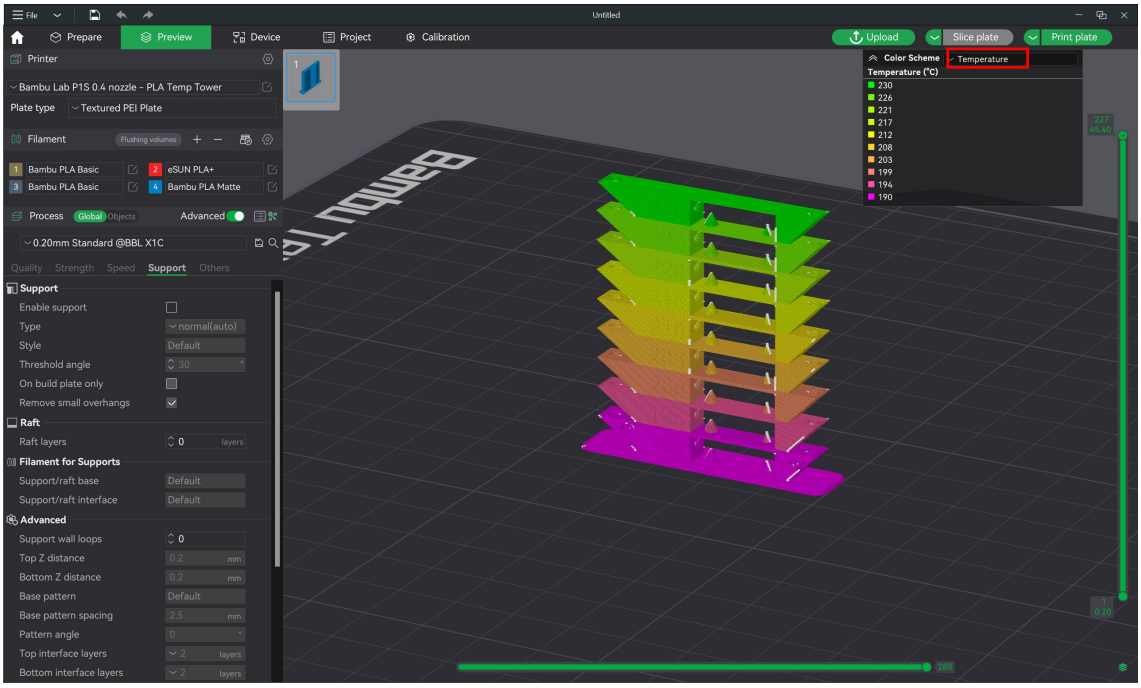


Navngiv det nye preset ved at kalde det printermodel, nozzle størrelse – PLA Temp Tower. Tryk der efter OK.

Nu er presettet gemt og næste gang en ny type PLA-filament skal bruges for første gang, er der allerede et preset klar så man kun skal importere STL filen med PLA Temp Tower.

Tryk nu på Slice plate.

© AM Learning Lab 2024.

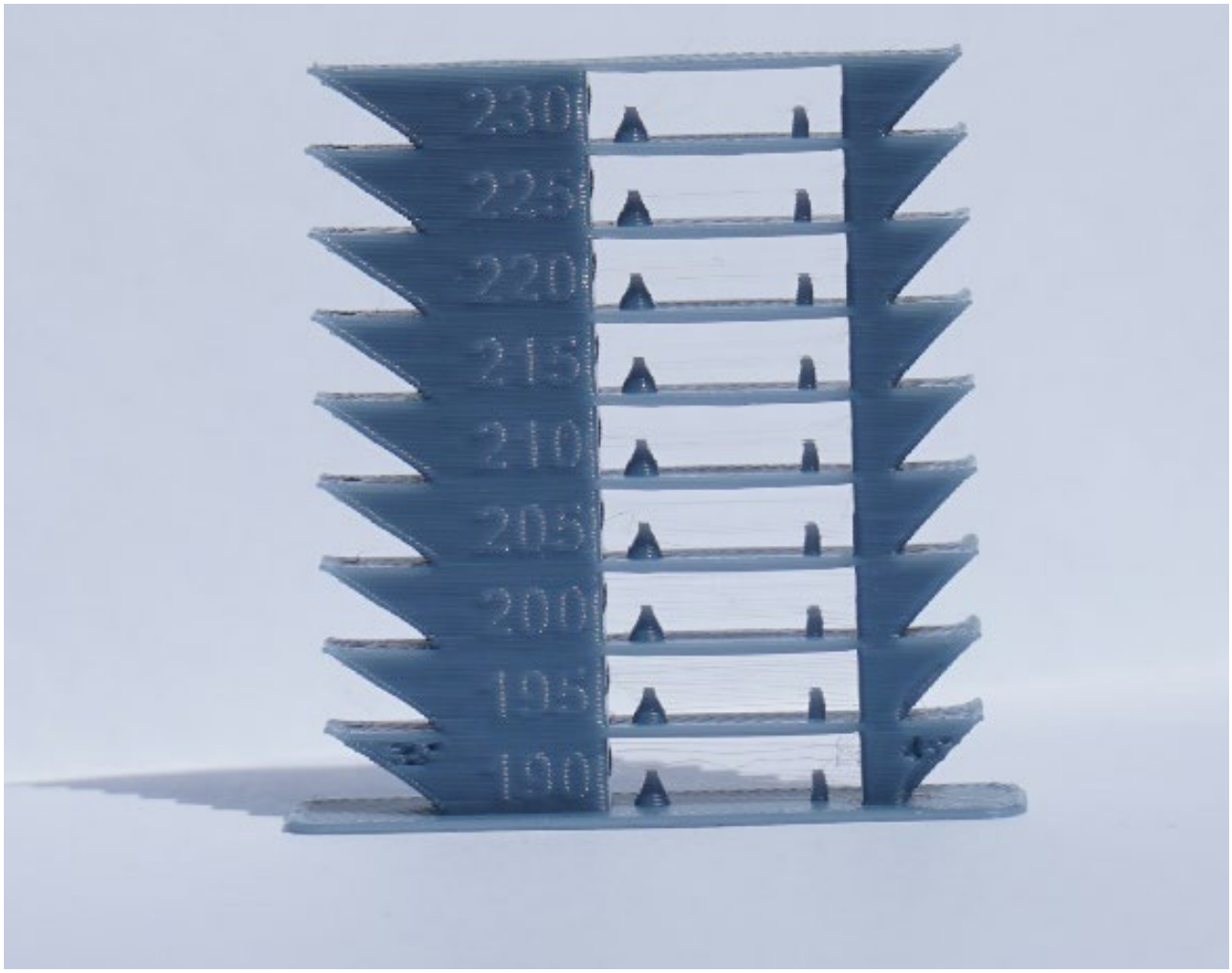


Nu er filen klar til at blive printet. Hvis man gerne vil kontrollere at temperaturstigningerne kommer som de skal, kan man ud fra Color Scheme vælge Temperature i drop-down menuen. Det skulle gerne give et billede som vist herover. Tryk på Print plate for at sende opgaven til 3D-printer

Se PLA Temp Tower blive til:

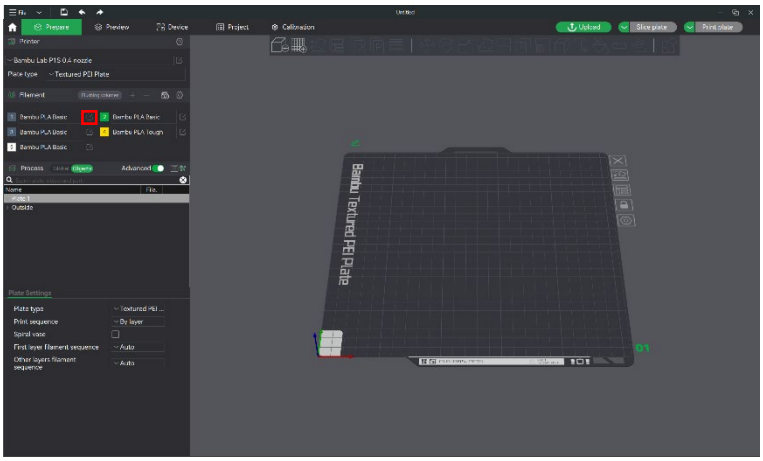
https://youtu.be/AMLuA3wscOs

© AM Learning Lab 2024.



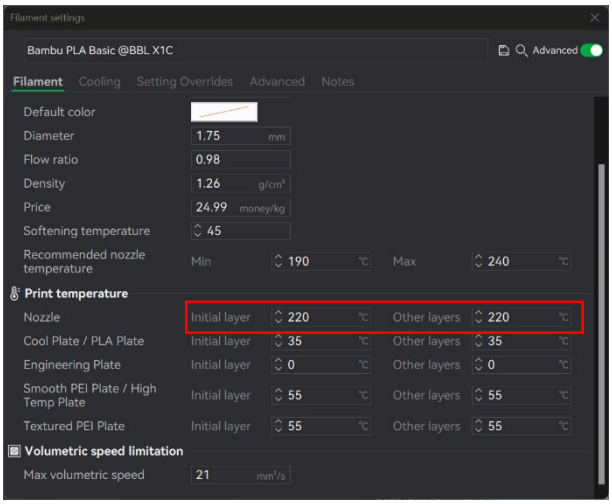
Når 3D-printeren er færdig med at printe PLA Temp Tower, kan analyseringen startes. Emnet vendes og drejes på alle leder og kanter, og der fortages en vurdering af hvilken temperatur der overordnet har klaret sig bedst.

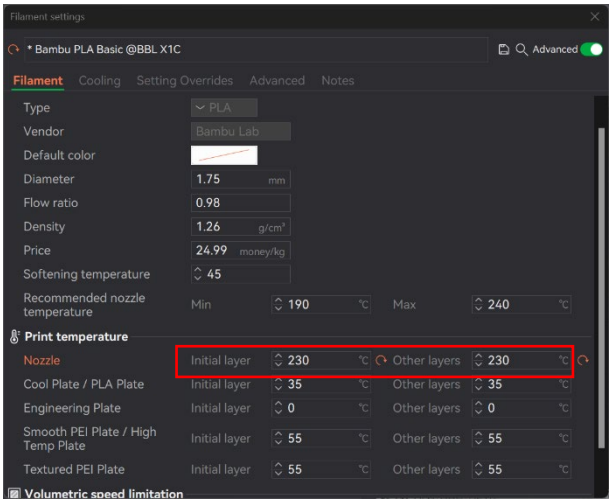
I dette tilfælde synes det at være 230 grader som har klaret opgaven bedst, da det er her der er færrest formafvigelser og ingen stringing (små tråde mellem de printede dele af modellen).



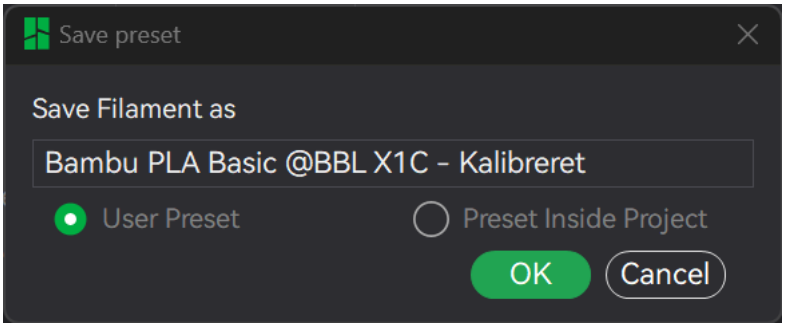
Bambu Studio åbnes nu på ny og der klikkes på editoren for at komme ind og ændre temperaturen på Bambu PLA Basic, som er den filament der er brugt til at printe PLA Temp Tower i denne omgang.

© AM Learning Lab 2024.





Nozzle temperaturen ændres nu fra de 220 grader til 230 grander, og Filament settings gemmes her efter ved at klikke på Save ikonet.



Navngiv presettet med filamentets navn og type efterfulgt af – Kalibreret. Så ved man som bruger til en anden gang at det pågældende filament er testet.

Opgave 6-1:

1. Udfør en Flow Dynamics Calibration, Flow Rate Calibration og temperatur kalibrering på en billig PLA og en PLA fra en anerkendt producent som f.eks. BASF, Prusament eller Bambu Lab PLA basic.
2. Sammenlign resultaterne hvilket filament klare sig bedst i forhold til 3D-printeren/Slicerens standart indstillinger.
3. Er der forskel på den billige og den dyre PLA's performance? Hvad kan det evt. skyldes?

© AM Learning Lab 2024.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I har lært, at kvalitet er afgørende i industrielt 3D-print, hvor produktions- og formtolerancer, samt overfladekvalitet spiller en stor rolle. Regelmæssig vedligeholdelse og kalibrering sikrer, at 3D-printeren opretholder disse tolerancer over tid.

Kalibrering og Justering

For at sikre ensartet kvalitet er det vigtigt at kalibrere og justere printeren regelmæssigt. Dette inkluderer justering af dyseafstand (bedleveling) og stramning af gummibælter i X- og Y-akserne. Korrekt justering forhindrer unøjagtigheder og sikrer præcise print.

Optimering af Filamentparametre

Filamentkvalitet varierer, og det er vigtigt at kalibrere printeren for at håndtere disse forskelle. Flow Dynamics Calibration justerer ekstruderingen for at kompensere for filamentets forskellige egenskaber, mens Flow Rate Calibration sikrer korrekt forhold mellem forventede og faktiske ekstrusionsvolumen.

Temperaturkalibrering

I har lært, hvordan man finder den optimale printtemperatur ved hjælp af et Temp Tower. Dette hjælper med at identificere den temperatur, hvor filamentet performer bedst, hvilket forbedrer printkvaliteten.

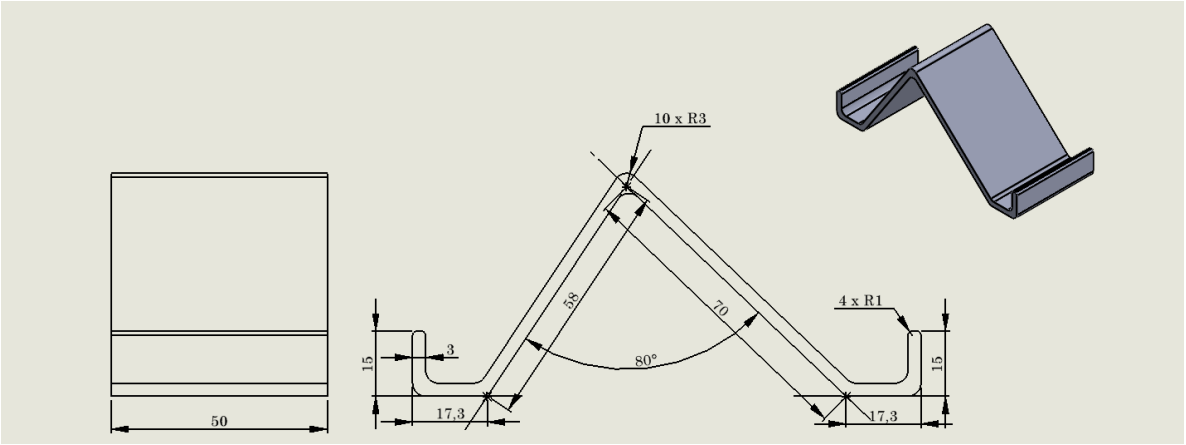
Nu har I lært, hvordan I optimerer kvaliteten af jeres 3D-print ved hjælp af kalibrering, justering og korrekt valg af filament.

© AM Learning Lab 2024.

07- Print af simple konstruktioner

Opgave 7-1:

Tegn nedenstående mobilholder i et CAD-program, eksportere 3D-modellen som STL. Importer den i slicer-softwaret og find den optimale orientering af emnet for at kunne printe den uden support. Print emnet med slicer-softwaret standart indstillinger med en lagtykkelse på 0,2mm. Materialet skal være PLA.



I sidste del af afsnittet er det ikke længere kun en printopgave, men også et eksperiment hvor holdbarheden i forhold til orienteringen af et 3D printet emne skal testes. Opgaven der skal printes, er en hyldeknægt/hylde bære og den skal printes i 2 udgaver med forskellige orienteringer.

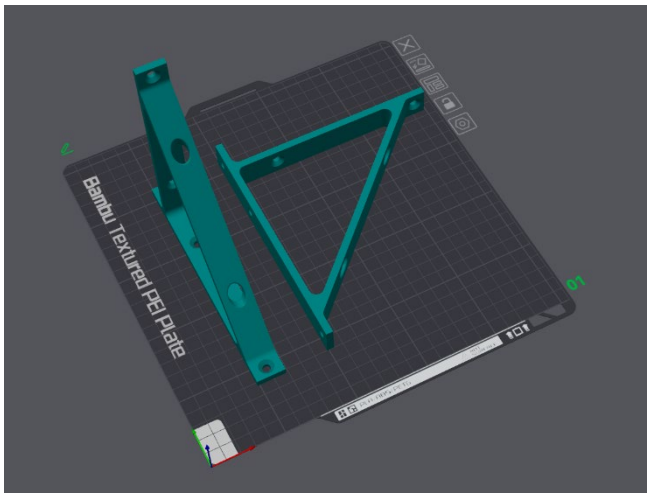
Når emnerne er printet, monteres emnerne på en væg eller anden lodret flade. Herefter belastes emnerne gradvist indtil emnerne brister. Afslutningsvis vejes de forskellige ballaster, og ud fra det kan konsekvensen af forskellige orienteringer af emnerne på byggepladen aflæses.

Opgave 7-2:

Importer opgave 7-2 filen 2 gange og orientere dem som anvist på billedet på byggepladen.

Indstil lagtykkelsen til 0,2mm, Infill pattern til Grid og Infill density til 15%. Wall loops til 2 Top og bottom shell til 3. Emnerne skal printes I PLA.

Print emnerne.



© AM Learning Lab 2024.

Når de 2 hyldeknægte er færdigprintede skal de monteres på en væg eller anden lodret flade.

Her efter tages 2 spande (en til hver hyldeknægt) og hænges på hver deres hyldeknægt på det punkt hvor den vandrette del af hyldeknægten mødes med skråstiveren.

For forsøgets skyld er det vigtigt at det er samme punkt hvor på spanden hænger på begge hyldeknægte.



For at sikre at spanden ikke glider af hyldeknægten når den begynder at afbøje, monteres en bolt i det yderste hul som et stop.

Hæng en spand på en af hyldeknægtene, og begynd stille og roligt at fylde vægtklodser i en efter en.

Når hyldeknægten brister tages indholdet af spanden og vejes på en vægt. Her efter gentages forsøget på den anden hylde knægt.
(Vægt forøg med 2-400gram af gangen)







Printet oprejst
Hvor mange gram kom der i spanden før hyldeknægten gav efter?

_____ gram





Printet liggende
Hvor mange gram kom der i spanden før hyldeknægten gav efter?

_____ gram

© AM Learning Lab 2024.

Refleksionsopgave 7-3:

Man kan med ganske få ændringer gøre hyldeknægten stærkere. Udfra de brud i kan se på den hyldeknægt som er printet liggende, skal I to og to komme med jeres bud på hvilke konstruktionsændringer som I mener der skal til for at forstærke hyldeknægten. Undersøg om et andet materialevalg vil kunne medvirke til øget styrke i emnet.

Konstruere og print den nye udgave af hyldeknægten og test styrken.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel har I arbejdet med slicer-softwaren, for at klargøre 3D-modeller til print. I har praktiseret at importere en 3D-model (mobilholder) fra et CAD-program, finde den optimale orientering for at printe uden brug af support, og derefter printe emnet med standardindstillinger.
Derudover har I gennemført et eksperiment for at forstå, hvordan orienteringen af et 3D-printet emne påvirker dets holdbarhed. I printede og testede to hyldeknægte med forskellige orienteringer, hvor I gradvist belastede emnerne for at observere, hvornår de bristede. Resultaterne blev målt og vejet for at analysere forskellen i styrke mellem de to orienteringer. Afslutningsvis reflekterede I over mulige konstruktionsændringer, der kunne gøre hyldeknægtene stærkere.

08- Optimering af processtider

For at optimere procestiderne når man printer med FDM, kan man anvende en række strategier og teknikker. Her er nogle af de metoder, som kan hjælpe med at forbedre effektiviteten og kvaliteten af ens 3D-print:

Justering af Printparametre

En af de mest direkte måder at optimere procestiden på er gennem justering af printparametre. Ved at reducere lagtykkelsen kan man opnå højere præcision, men det kan også øge printtiden. Derfor er det vigtigt at finde en balance mellem kvalitet og hastighed. Ved at øge printhastigheden kan man reducere printtiden, men det kræver, at printeren kan håndtere den højere hastighed uden at kompromittere kvaliteten. En anden parameter at justere er infill densiteten. Ved at reducere infill densiteten kan printtiden nedsættes, især hvis modellen ikke kræver høj strukturel styrke. Antallet af ydre lag (shells) kan også reduceres for at spare tid, men pas på ikke at gå på kompromis med delens styrke.

Optimering af Printretningen

Den rette orientering af modellen i printeren kan have stor indflydelse på printtiden. Ved at vælge den optimale orientering kan man minimere behovet for supportmateriale og antallet af lag, hvilket også kan forbedre overfladekvaliteten og styrken af det færdige emne.

Brug af Avancerede Slicer-indstillinger

© AM Learning Lab 2024.

Moderne slicere tilbyder en række avancerede indstillinger, der kan hjælpe med at optimere printprocessen. Adaptiv lagtykkelse er en funktion, der dynamisk justerer lagtykkelsen baseret på modellens geometri. Variable infill-mønstre kan også bruges til at justere fyldningsmønsteret og densiteten i forskellige dele af modellen afhængig af styrkekravene.

Hardwareopgraderinger

Hardwareopgraderinger kan også spille en stor rolle i at reducere procestiden. Brug af en større dyse kan for eksempel tillade hurtigere udlægning af materialet, hvis detaljeringsgraden tillader det. Printere med flere dyser kan også anvendes til at udskrive med forskellige materialer eller farver uden at skulle stoppe og skifte filament.

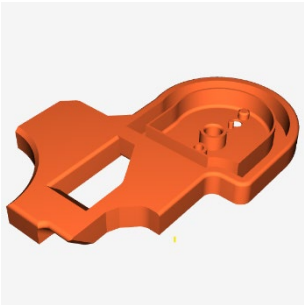
Ved at kombinere disse metoder kan du betydeligt reducere procestiden for FDM-print, samtidig med at man opretholder eller endda forbedrer kvaliteten af de færdige dele.

Opgave i slicer-softwaret

Emnet på billederne til højre skal printes så der er en god balance mellem overfladekvalitet og print tid. Opgaven består i at optimere parametrene så den bedst mulige produktionstid opnås uden at emnet begynder at miste formnøjagtigheden.

Udgangsparametrene for opgave er:

Lagtykkelse:	0,08mm
Infill densitet:	15%
Infill pattern:	Gyroid
Wall shells:	2
Top shells:	9
Bottom shells:	7
First layer speed:	50mm/s
Layer speed:	105mm/s
Plasttype:	PLA



Der skal ikke tages højde for styrke i dette print, kun hastighed og kvaliteten af overfalden har betydning. **Dog må infill densiteten ikke komme under de 15%**

Opgave 8-1:

Importere emnet i slicer-softwaret, og slice emnet med før angivne parameter, så printtiden for udgangsparametrene kendes.



Printtid ifølge slicer-software:_____

© AM Learning Lab 2024.

Opgave 8-2:

Lagtykkelse Den første parameter som der optimeres på, er lagtykkelsen, da det er en parameter som har direkte indflydelse på overfladeruheden på det printede emne. Jo lavere lagtykkelse jo lavere overfalderuhed og der med pænere overflade. Jo højere lagtykkelse jo højere overfladeruhed og der med også en grovere overflade at se på.

Indstil parameteren med nedenstående lagtykkelser, slice emnet efter hver indstilling og angiv printtiden:

Lagtykkelse 0,12mm:_____

Lagtykkelse 0,2mm: _____

Lagtykkelse 0,3mm: _____

Opgave 8-3:

Infill densiteten kan vi ikke ændre meget på da der er et minimumskrav på 15% som skal overholdes der. Infill pattern kan man derimod ændre på, og hvis der ikke er noget krav til styrke/stivhed i emnet, vil der være tid at spare ved at ændre på infill pattern. Igen skal alle ændringer foretages ud fra udgangsparametrene.

Find det infill pattern som giver den korteste printtid ved 15% densitet i infill.

Hvor lang tid tager det at printe emnet med optimeret infill: _____

Opgave 8-4:

Shells. Emnet sider, top og bund består af en massiv skal/shell, tykkelsen her på kan varigeres efter hvor holdbar en overflade man ønsker. For sider har man et minimum tommelfingerregel på 2 wall shells og 3 top og bottom shells (antallet af vægge/lag før infill) Undersøg hvad der sker med printtiden hvis antallet af top og bottom shells reduceres til 3. Igen tages der udgangspunkt i udgangsparameterne.

Hvor langtid estimerer slicer-softwaret printet til at tage med de nye top og bottom shells værdier:_____

Opgave 8-5:

Speed er en af de store faktorer som spiller ind når der printes. For at finde ud af de optimale hastigheder at printe emnet med, skal der laves et prøveprint. Konstruere en kube på 20x20x20mm og prøv at justere First layer speed og Layer speed op med 10mm/s adgangen. Print kuben mellem hver justering. Hvis overfladerne begynder at blive grimme eller usammenhængende er hastigheden blevet for høj, skru da ned for hastigheden igen. Målet er at finde ud af hvor meget plastik hotend kan nå at smelte når man kommer op i de høje hastigheder. Når grænsen er nået, vil det tydeligt kunne ses på printet. Når det maksimale niveau er fundet, indtastes værdierne i slicer-softwaret for test emnet. Resten af parametrene skal være udgangsparametrene.
Hvor lang tid tager det at printe emnet nu: _____

Opgave 8-6:

Hardware som dysen/nozzlen kan også øges i diameter, hvilket gør at man kan lægge mere plastik ud hurtigere. Men det kræver at hotend kan følge med. Prøv at øge nozzle diameter i sliceren og se hvad der skal med tiden når diameteren øges til 0,6mm.

Hvor lang tid estimerer slicer-softwaret printet til at tage nu (Ud fra udgangsparametrene):_____

© AM Learning Lab 2024.

Opgave 8-7:

Nu ændres alle udgangsparameter værdierne til de nye værdier, og emnet slices en sidste gang.

Hvor lang tid estimerer slicer-softwaret printet til at tage nu?: _____

Print emnet, lever emnets kvalitet op til forventningerne?: _____

Hvad har I lært i dette kapitel?

I har lært forskellige strategier og teknikker til at optimere procestiderne for FDM-print, herunder justering af printparametre, optimering af printretningen, brug af avancerede slicer-indstillinger og hardwareopgraderinger.

I har lært, at justering af lagtykkelse, printhastighed, infill densitet og antallet af shells kan påvirke både printtid og kvalitet. For eksempel kan en lavere lagtykkelse forbedre overfladekvaliteten, men øge printtiden, mens en højere hastighed kan reducere printtiden, men kræver en printer, der kan håndtere det uden at kompromittere kvaliteten.

Ved at vælge den optimale orientering af modellen i printeren kan I minimere behovet for supportmateriale og reducere antallet af lag, hvilket også kan forbedre overfladekvaliteten og styrken af det færdige emne.

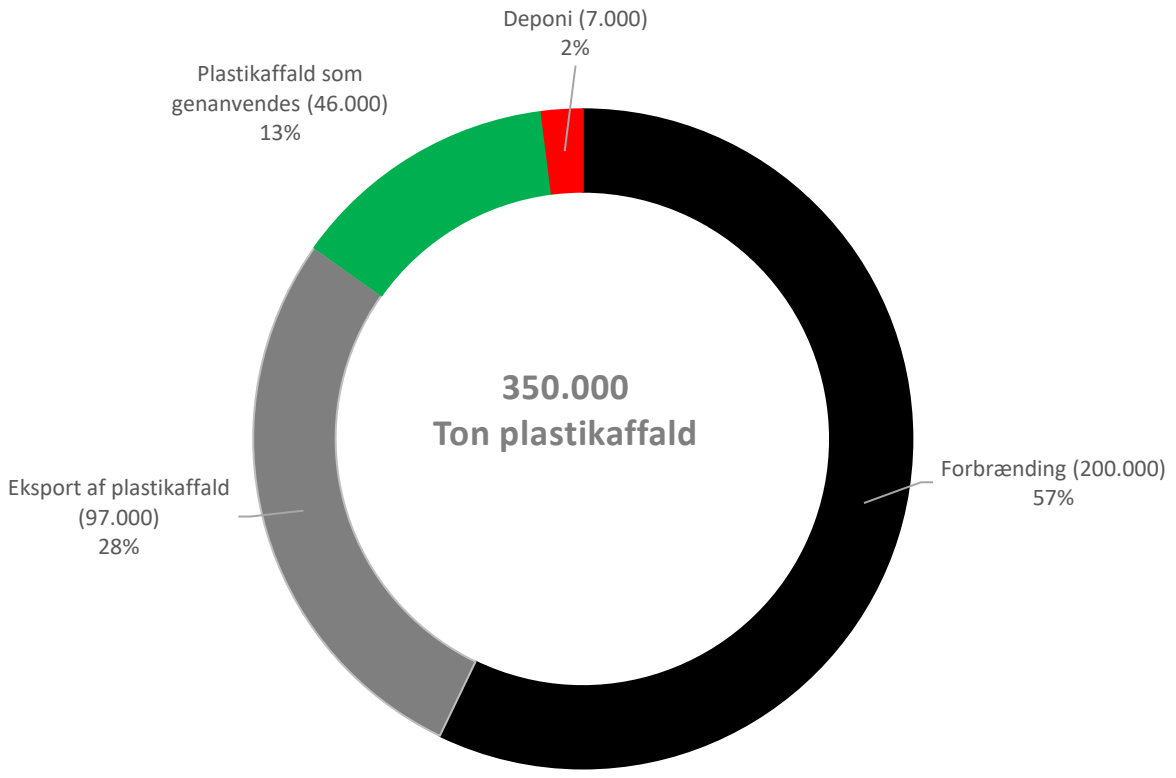
I har lært at anvende forskellige metoder og teknikker for at optimere procestiden for FDM-print uden at gå på kompromis med kvaliteten. I har også fået erfaring med praktisk anvendelse af disse teknikker gennem øvelser i slicer-softwaret.

© AM Learning Lab 2024.

09- 3D-print og den grønne omstilling

Mange taler Additive Manufacturing som den produktionsmetode der skal revolutionere hele verdenens produktion og gøre den både grøn og bæredygtig. Det er dog imidlertid langt fra sandheden, for 3D-print i sig selv er på nuværende tidspunkt hverken grøn eller på nogen måder bæredygtig. Produktion med 3D-printere er stadig en energitung proces sæt i lyset af at langt de fleste 3D-printere og deres materialer fremstilles i Kina og derefter fragtes rundt på i verdenen til de steder hvor de skal anvendes. Fremstillingen af filament til 3D-printerne sker i stadig overvejende grad på jomfruplast frem for genanvendt plast, hvilket betyder at 3D-print lige som de traditionelle fremstillingsmetoder sender mere plastik ud på verdensmarkedet og derfor er med til at generere mere plastaffald når de 3D-printede produkter når EOL (End Of Life).

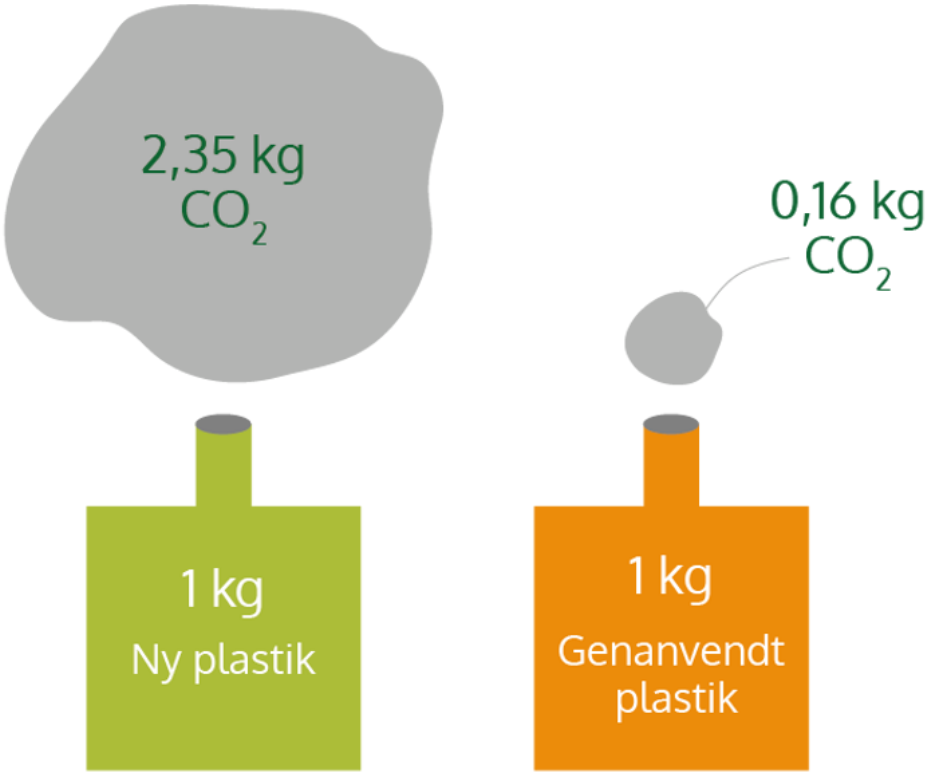
Alene i Danmark producere vores industri og husholdning samlet årligt 350.000 tons plastikaffald (2016) og langt største delen af plastaffaldet ryger direkte til forbrænding. Det samme sker i overvejende grad med 3D-printede produkter.



Kilde: McKinsey, 2019

© AM Learning Lab 2024.

En øgning af mængden af plast som genanvendes, vil have stor betydning for mængden af CO_2 der udledes på verdensplan, hvis man for eksempel genanvender 1 kg polypropylen plast vil CO_2 udledningen til atmosfæren være 2,2 kg svarende til 93,62% mindre sammenlignet med jomfru (ny) polypropylen.



De 2,2 kg gælder for Polypropylen (PP), Kilde: Dansk Affaldsminimering

Additive Manufacturing som det grønne og bæredygtige valg:

3D print kan være et grønnere og mere bæredygtigt alternativ i forhold til både Subtractive (spåntagende) og formative (sprøjtestøbe) Manufacturing.

Subtractive Manufacturing: Når der fremstilles med spåntagende bearbejdning, tager man et stykke råmateriale som er større end det færdige produkt. Her skære man materiale væk indtil ens emne har opnået de ønskede former. Det efterlader en masse restmateriale som enten forbrændes, deponeres eller genanvendes.

Havde man anvendt Additive Manufacturing og emnet er DfAM, så kunne man producere emnet uden nogen former for restmateriale. Det fører til et lavere materialeforbrug og der ved en lavere CO_2 aftryk pr. producerede emne.

Formative Manufacturing: Denne produktionsform er oftest det mest grønne og bæredygtige valg når det kommer til masseproduktion af plast emner. Lige som Additive Manufacturing så er der stort set ikke noget materialespild ved denne produktionsform, da der kun smeltes og skydes den mængde plast i formen som skal anvendes til at fremstille det ønskede emne.

© AM Learning Lab 2024.

Ulempen ved Formative Manufacturing er at man skal fremstille et meget stort stykantal for at denne produktionsform bliver grøn og bæredygtig, og stykantallet er ofte over 15-20000 emner inden regnestykket går i nul sæt i forhold til Additive Manufacturing.

Årsagen til dette skal findes i at der skal fremstilles sprøjtestøbeværktøjer inden produktionen kan sættes i gang. Disse værktøjer fremstilles ved Subtractive Manufacturing, som nævnt tidligere fremstilles med en produktionstype hvor der er et materialeoverforbrug.

Additive Manufacturing: Kan være et grønnere og mere bæredygtig produktionsform set i forhold til Subtractive og Formative Manufacturing hvis man tænker sig om. At flytte eksisterende produkter fra Subtractive og Formative Manufacturing til Additive Manufacturing vil aldrig kunne svare sig, da disse produkter ikke er optimeret til Additive Manufacturing og derfor ofte vil fører til et øget materiale- eller tidsforbrug.

Er de emner der skal 3D-printes fra start DfAM, er snakken en hel andet. Her vil der sjældent være andre produktionsformer end Additive Manufacturing der kan levere det mest grønne og bæredygtige produkt. Og hvis man samtidigt indtænker cirkulær produktion i designet af emnet, så vil Additive Manufacturing og emnet i endnu større grad bidrage til en mere grøn og bæredygtig produktion af produkter.

Hvad er cirkulær økonomi?

Definition: Cirkulær økonomi er en økonomisk model, der sigter mod at minimere affald og ressourceforbrug ved at genanvende og genbruge materialer og produkter.

Principperne for cirkulær økonomi:

- Design for genanvendelse: Produkter skal designes med henblik på nem adskillelse og genanvendelse af materialer.
- Genbrug og genanvendelse: Materialer og produkter bør genbruges og genanvendes så meget som muligt.
- Deling af økonomi: Deling af ressourcer og produkter gennem delingsøkonomimodeller kan reducere overforbrug.
- Biologisk kredsløb: Materialer bør være biologisk nedbrydelige og kunne omsættes i naturens kredsløb.
- Regenerative ressourcer: Udnyttelse af vedvarende energikilder og fornyelige ressourcer.

Fordele ved 3D-print i cirkulær produktion:

- Lokal produktion: 3D-printmuligheder gør det muligt at producere varer lokalt, hvilket reducerer behovet for langvarig og ressourcekrævende global transport.
- Tilpasning og personalisering: 3D-printmuligheder giver mulighed for at tilpasse produkter individuelt, hvilket reducerer spild og overproduktion.
- Reduceret affald: 3D-printteknologien minimerer affald ved at producere kun det nødvendige materiale og undgå overskudslager.

© AM Learning Lab 2024.

- Genanvendelse af materialer: 3D-printmuligheder gør det muligt at genanvende og genbruge materialer og dermed mindske ressourceforbruget.

Implementering af cirkulær økonomi i 3D-printprocessen:

- Materialevalg: Vælg materialer, der er egnet til genbrug og genanvendelse. Fokusér på biologisk nedbrydelige materialer eller genbrugsmaterialer, hvor det er muligt.
- Design for genanvendelse: Design produkter, der nemt kan adskilles i komponenter og genanvendes. Brug standardiserede monteringsteknikker og undgå lim eller materialer, der er svære at adskille.
- Deling af design: Fremme deling af 3D-printdesigns og filer gennem åbne licenser og online-platforme for at reducere behovet for gentagen produktion.
- Genanvendelsesfaciliteter: Etablér faciliteter til genanvendelse og genbrug af 3D-printede genstande for at sikre, at materialer kan genanvendes effektivt.

Case-study: Adidas Futurecraft Loop-skoen

Eksempel på cirkulær produktion og 3D-print: Adidas Futurecraft Loop-skoen er lavet af 100% genanvendelige materialer og produceret ved hjælp af 3D-printteknologi. Skoene kan returneres til Adidas, hvor de genanvendes til nye sko uden tab af kvalitet eller ressourcer.

https://youtu.be/6-3wjsIX44o

Tid til diskussion og refleksion 1:

Opgave 9-1:
Hvilke andre industrier eller produkter kan drage fordel af 3D-print og cirkulær økonomi?

Opgave 9-2:
Hvordan kan udfordringer såsom kvalitetskontrol og materialers levetid løses i forbindelse med cirkulær produktion og 3D-print?

7R modellen

Filosofien bag virksomheden Whatt.io bygger på principperne om cirkulær økonomi og bæredygtig forretningspraksis. Whatt.io er dedikeret til at fremme og implementere cirkulær økonomi i virksomheder og organisationer som en løsning på de udfordringer, vi står over for med hensyn til ressourceknaphed, affaldsproblemer og miljøpåvirkning.

© AM Learning Lab 2024.

Filosofien omfatter følgende kerneprincipper:

1. Cirkulær økonomi:

Whatt.io tror på, at overgangen fra en lineær økonomi (hvor produkter produceres, bruges og derefter bortskaffes) til en cirkulær økonomi (hvor ressourcer og materialer opretholdes i kredsløb) er afgørende for en bæredygtig fremtid. Ved at designe, producere og forbruge med fokus på genanvendelse, genbrug og forlænget levetid af produkter kan vi minimere ressourceforbruget og reducere affald.

2. Systemisk tænkning:

Whatt.io mener, at en systemisk tilgang er nødvendig for at implementere cirkulær økonomi effektivt. Det indebærer at se på hele værdikæden, fra design og produktion til forbrug og bortskaffelse. Ved at identificere og adressere udfordringer og muligheder i hele systemet kan virksomheder og organisationer skabe mere bæredygtige løsninger.

3. Samarbejde og partnerskaber:

Whatt.io tror på vigtigheden af at etablere samarbejde og partnerskaber på tværs af industrier, sektorer og interessenter. Ved at arbejde sammen kan virksomheder dele viden, ressourcer og erfaringer for at skabe en mere omfattende og effektiv overgang til cirkulær økonomi. Samarbejde mellem virksomheder, myndigheder, akademiske institutioner og civilsamfundet er afgørende for at skabe en bæredygtig fremtid.

4. Teknologi og innovation:

Whatt.io erkender vigtigheden af teknologi og innovation i at drive overgangen til cirkulær økonomi. Ved at udnytte digitale værktøjer, avancerede produktionsmetoder som 3D-print og Internet of Things (IoT), samt udvikle nye forretningsmodeller og løsninger, kan virksomheder opnå mere effektiv ressourceudnyttelse og cirkulære processer.

5. Bevidsthed og uddannelse:

Whatt.io fremmer bevidsthed og uddannelse om cirkulær økonomi. Ved at øge forståelsen for principperne og fordelene ved cirkulær økonomi kan virksomheder og organisationer træffe informerede beslutninger og tage skridt mod mere bæredygtige praksisser.
Samlet set handler filosofien bag Whatt.io om at skabe en bæredygtig og cirkulær økonomi, hvor ressourcer udnyttes effektivt, affald minimeres, og økonomisk vækst er afkoblet fra ressourceforbrug. Virksomheden arbejder for at inspirere og guide virksomheder og organisationer i overgangen til en mere bæredygtig fremtid.

whatt.io 7R-modellen er en tilgang til cirkulær økonomi og bæredygtig forretningspraksis, der bygger på syv centrale principper. Modellen er udviklet af whatt.io, en organisation dedikeret til at fremme og implementere cirkulær økonomi i virksomheder og organisationer. Hver "R" repræsenterer en nøglestrategi eller handlingstrin, der kan anvendes til at omdanne lineær økonomi til en mere bæredygtig og ressourceeffektiv praksis.

© AM Learning Lab 2024.



Kilde: Whatt.io

Her er en beskrivelse af de syv R'er i whatt.io 7R-modellen:

Rethink (Genoverveje):

- Dette trin handler om at udfordre den traditionelle tankegang og revidere forretningsmodeller. Virksomheder bør vurdere deres produkters levetid, forbrugsmønstre og ressourcebehov for at identificere muligheder for at implementere cirkulære tiltag.

2. Refuse (Afvis):

- Dette princip fokuserer på at afvise unødvendige ressourcer og materialer. Virksomheder bør undgå overforbrug og vælge alternative løsninger, der er mere bæredygtige. Eksempler kan være at undgå engangsprodukter eller reducere emballage.

3. Reduce (Reducer):

- Reducer handler om at minimere ressourceforbruget og affaldsgenerering. Virksomheder bør stræbe efter at reducere materialernes mængde, energiforbrug og miljøpåvirkning gennem effektive processer, produktionsmetoder og designoptimering.

4. Reuse (Genbrug):

- Genbrug fokuserer på at forlænge produkters levetid og udnytte materialer og komponenter igen. Virksomheder kan implementere løsninger som reparation, renovering, ombygning eller omformulering af produkter for at sikre genbrug og forlænget levetid.

5. Repair (Reparation):

- Reparation involverer at rette op på defekte eller beskadigede produkter i stedet for at erstatte dem. Virksomheder kan tilbyde reparationstjenester eller understøtte lokale reparationsinitiativer for at forlænge produkternes brugstid.

6. Remanufacture (Reproducere):

- Reproducere handler om at transformere brugte produkter eller komponenter til at skabe nye værdifulde varer. Virksomheder kan udvikle processer og systemer, der gør det muligt at genanvende og reproducere materialer på en effektiv måde.

7. Recycle (Genanvend):

- Genanvendelse involverer at omdanne affaldsprodukter og materialer til nye råvarer. Virksomheder bør implementere genanvendelsesprocesser og samarbejde med genanvendelsesindustrien for at sikre, at materialer lukkes ind i kredsløbet.

Sammen udgør de syv R'er i whatt.io 7R-modellen en omfattende tilgang til at skabe en mere bæredygtig og cirkulær økonomi. Ved at anvende disse principper kan virksomheder reducere ressourceforbrug, minimere affald og bidrage til en mere bæredygtig fremtid.

© AM Learning Lab 2024.

Tid til diskussion og refleksion 2:

Opgave 9-3:
Hvordan kan virksomheder balancere behovet for innovation og produktudvikling med principperne i 7R-modellen? Hvordan kan de sikre, at deres produkter og processer er både bæredygtige og konkurrencedygtige?

Opgave 9-4:
Hvad er nogle af de barrierer, der kan forhindre virksomheder i at vedtage de syv R'er i 7R-modellen? Hvordan kan disse barrierer overvindes, og hvilke incitamenter kan motivere virksomheder til at implementere cirkulær økonomi?

Opgave 9-5:
Hvordan kan 3D-printteknologi bruges til at skabe bæredygtige hverdagsprodukter, der reducerer affald og ressourceforbrug?
Opgavebeskrivelse:
I skal udvikle en forretningsplan for en virksomhed, der producerer hverdagsgenstande ved hjælp af 3D-print. Produkterne skal være designet til at være genanvendelige, holdbare og fremstillet af genbrugte eller bæredygtige materialer. I skal identificere potentielle produkter, designe produktionsprocessen og beskrive, hvordan deres virksomhed vil bidrage til den grønne omstilling gennem reduceret affald og ressourceforbrug. I skal printe emnet og fremlægge jeres løsning for klassen. I har 10 klokketimer til at løse opgaven.

Hvad har I lært i dette kapitel?

I dette kapitel har I lært, at 3D-printning har potentiale til at være miljøvenligt, men det er ikke uden udfordringer. Produktionen af 3D-printere og filamenter er energikrævende og ofte ikke bæredygtig. Meget af materialet fremstilles og transporteres fra Kina, hvilket øger CO2-udledningen.

Additive Manufacturing vs. Andre Produktionsmetoder

I har lært forskellene mellem additive (3D-printning), subtractive (spåntagning) og formative (sprøjtestøbning) manufacturing. Additive manufacturing kan være mere miljøvenlig, især når produkterne er designet til denne metode, hvilket minimerer materialeaffald.

Cirkulær Økonomi

Vi har diskuteret cirkulær økonomi, som handler om at minimere affald og maksimere genbrug og genanvendelse af materialer. Dette inkluderer at designe produkter til genanvendelse, genbruge materialer, dele ressourcer og bruge biologisk nedbrydelige materialer.

© AM Learning Lab 2024.

10- Anvendt udstyr og software i dette kompendie

Software:

Bambu Studio (Bambu Lab)
SolidWorks
Eiger (Markforged)

3D printere:

Bambu Lab X1 carbon Combo
Bambu Lab P1S
Markforged MarkTwo 2.gen

Materialer:

Basf Ultrafuse PLA
Bambu Basic PLA
Bambu Support W (PVA)
Bambu PA6-CF
Markforged Onyx

11- Kilder:

AM Learning Lab Herningsholm
Markforged
Bambu Lab
Solid Print 3D Danmark
Whatt.io
Flashforge Danmark
Dansk Affaldsminimering
McKinsey
GM Media Archives
www.epo.org
www.metal-am.com
TCT Magazine
The 3D Printing Handbook
www.3DCP.dk
www.3dnatives.com
Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart
Basf
Fotografikken
Additech.dk

12- Copyright og Brugsbetingelser

© AM Learning Lab 2024.

© Kasper Moesgaard, 2024. Alle rettigheder forbeholdes.

Dette kompendium, herunder alle tekster, billeder, videoer, illustrationer og andre materialer, er skabt af Kasper Moesgaard for Industriens Uddannelser, medmindre andet er angivet. Materialet er beskyttet af ophavsret og må kun anvendes i forbindelse med undervisning i faget "Intro til 3D print" på landets erhvervsskoler.

Det er ikke tilladt at kopiere, distribuere, ændre, eller på anden måde bruge indholdet uden forudgående skriftlig tilladelse fra ophavsmanden, Kasper Moesgaard enhver krænkelse af ophavsretten kan medføre retsforfølgelse.

Hvis du har spørgsmål vedrørende brugen af dette materiale, kontakt venligst Industriens Uddannelser som vil henvende sig til forfatteren.

© AM Learning Lab 2024.

13- Ekstra:

Alle vigtige 3D-print termer:

Engelsk term	Dansk term	Beskrivelse
Additive Manufacturing	**Additive Manufacturing**	Additive Manufacturing, også kendt som 3D-print, refererer til skabelsen af tredimensionelle objekter ved at tilføje materiale lag for lag. Som navnet antyder, er det en additivproces fremfor en subtraktiv proces som CNC-bearbejdning. Der findes forskellige teknologier inden for additiv fremstilling, herunder stereolitografi (SLA), direkte metal lasersintring og Multi Jet fusion. Additive Manufacturing tilbyder fleksibilitet, hastighed og evnen til at skabe komplekse geometriske former, som ellers kunne være udfordrende eller umulige at opnå ved hjælp af traditionelle fremstillingsmetoder.
Build Plate	**Byggeplade**	Build Plate er overfladen, hvorpå objektet konstrueres.
CAD (Computer-Aided Design)	**CAD**	CAD (Computer-Aided Design) refererer til brugen af computerteknologi til at skabe, modificere, analysere eller optimere designs til forskellige formål. CAD-software giver designere, ingeniører, arkitekter og andre fagfolk mulighed for at producere præcise todimensionale (2D) og tredimensionale (3D) objekter eller systemer.
Deposition	**Deposition**	Deposition refererer til processen med at tilføje materiale lag for lag for at opbygge et tredimensionelt objekt. Denne teknik involverer aflejring af successive lag af materiale til et digitalt design eller model, der er skabt ved hjælp af CAD-software. I deposition-baserede 3D-printteknologier som Fused Deposition Modelling eller Fused Filament Fabrication føres et termoplastisk filament ind i en opvarmet dyse. Materialet smeltes og ekstruderes på objektets build plate eller tidligere lag i præcise baner bestemt af den digitale model. Efterhånden som hvert lag aflejres, smelter eller størkner det sammen med de foregående lag og danner gradvist den endelige del.
Extruder	**Ekstruder**	Extruder er mekanismen, der er ansvarlig for at smelte og aflejre filamentmaterialet på build plate for at skabe objektet lag for lag—en kritisk komponent i deposition-printning som FDM (Fused Deposition Modelling).
Filament	**Filament**	Filament er materialet, der bruges som det primære stof til at skabe dele (ved hjælp af deposition-printning), og som føres ind i en 3D-printers extruder. Filamenter findes i forskellige typer og sammensætninger, såsom ABS, PETG, TPU og Nylon.
G-Code	**G-kode**	G-Code er et sæt instruktioner eller kommandoer i et standardiseret sprog, der fortæller (FDM) 3D-printeren, hvordan en del skal skabes. Det er en række alfanumeriske koder, der styrer bevægelse, hastighed, temperatur og andre nødvendige parametre for at producere en 3D-printet del. G-Code genereres fra slicer-software (som omdanner en 3D-model til et printbart lag). G-Code-specifikke kommandoer guider printerens extruder og build plate, herunder instruktioner til bevægelser langs X-, Y-

© AM Learning Lab 2024.

		og Z-aksen, ekstruderingshastigheder, opvarmnings- og afkølingstemperaturer, ventilatorhastigheder og andre indstillinger, der er relevante for printprocessen. Her er et eksempel på, hvordan nogle G-Code-kommandoer kan se ud: 1. G0/G1 – Flyt til en specifik position med en bestemt hastighed 2. G28 – Home alle akser (returner til referencepunktet) 3. G92 – Sæt den aktuelle position til angivne koordinater 4. M104 – Indstil extruderens temperatur 5. M140 – Indstil build plate-temperaturen 6. M106 – Styr ventilatorhastigheden
Heated Bed	**Varme plade**	Heated Bed er en platform, hvorpå det objekt, der printes, opbygges lag for lag. Platformen opvarmes til en specifik temperatur, som typisk ligger mellem 50 og 100 grader Celsius eller højere, afhængigt af det anvendte filamentmateriale. Hovedformålet med en opvarmet bed er at forhindre deformation (warping) og forbedre vedhæftningen mellem det første lag af printet og selve platformen.
Infill	**Fyld**	Infill refererer til den indre struktur i en printet del. Det er typisk et mønster af linjer, gitre eller trekanter. Du kan justere infill-tætheden og specificere, hvor meget af det indvendige rum der fyldes med materiale. Dette er i stedet for at printe en solid del, hvilket ville bruge mere materiale og tage længere tid, og det påvirker også delens vægt. Valget af infill afhænger i høj grad af, hvad der kræves af delen. Hvis en del kræver et højt niveau af strukturel integritet eller skal bære en stor vægt, kan det være en fordel med højere infill-procenter for ekstra styrke. Justering af infill-tætheden giver mulighed for at finde en balance mellem styrke, materialeforbrug og printtid.
Jams	**Blokering**	Jams opstår, når filamentet (materialet, der bruges til printning) sidder fast eller bliver blokeret i extruderen, dysen eller en anden del af 3D-printerens fødesystem, hvilket forstyrrer processen. Flere faktorer kan bidrage til jams, såsom filamentproblemer (filament, der er sammenfiltret, knuder eller uregelmæssigheder), problemer med extruderen (tilstoppet eller delvist blokeret), printindstillinger og mekaniske problemer.
Kapton Tape	**Kapton Tape**	Kapton Tape er en varmebestandig klæbebånd, der ofte bruges i (FDM) 3D-printning. Det er en polyimidfilm, der kan modstå høje temperaturer, typisk mellem 200 og 300 grader Celsius (eller endda højere i nogle tilfælde). Kapton Tape påføres ofte på printbedden, især på printere, der ikke har en indbygget opvarmet byggeplade til materialer, der kræver højere bed-temperaturer. Det primære formål med båndet er at give en flad, holdbar og varmebestandig overflade, som de første lag af printet kan hæfte til. Dette hjælper med at forhindre warping og fremmer bedre vedhæftning, især med materialer som ABS, der har tendens til at deformere, hvis byggepladen ikke er tilstrækkeligt opvarmet. Kapton Tape har fremragende termisk

© AM Learning Lab 2024.

		ledningsevne, hvilket gør det muligt at fordele varmen jævnt over printoverfladen.
Layer Height	**Lagtykkelse/Lag højde**	Layer Height refererer til den vertikale tykkelse af hvert lag, der udgør et printet objekt. Når du 3D-printer, opbygges din del i en printer lag for lag. Lagtykkelsen bestemmer tykkelsen af hvert af disse lag. Så hvis lagtykkelsen er sat til 0,2 mm, vil hvert lag af den printede del være 0,2 mm tykt. Jo mindre lagtykkelsen er, desto finere bliver detaljerne. Det skal bemærkes, at mindre lag kan øge den tid, det tager at printe delen, fordi printeren har flere lag at skabe.
Microstepping	**Mikrosteps**	Microstepping er en teknik, der bruges til at forbedre kontrol og opnå en jævn printproces. Det opdeler et enkelt trin i mindre trin, hvilket resulterer i mindre bevægelsesinkrementer. Hvis en stepmotor har 200 trin per omdrejning, og microstepping opdeler hvert af disse fulde trin i 16 mindre microsteps, vil stepmotoren dermed lave 3.200 microsteps per fuld omdrejning. Hvorfor bruge microstepping? Microstepping kan være fordelagtigt af flere grunde, såsom jævnere bevægelse og forbedret præcision.
Nozzle	**Dyse**	Nozzle er den del, der er ansvarlig for at aflejre og forme det materiale, der bruges til at skabe lagene, som danner den endelige del. Dysen er typisk lavet af messing (selvom andre varmebestandige materialer også bruges lejlighedsvis). De findes i forskellige størrelser, der spænder fra 0,2 mm til 1 mm i diameter, hvor 0,4 mm er den mest almindelige. Dysens størrelse påvirker detaljeniveauet, printhastigheden og materialegennemstrømningshastigheden. Mindre dyser er velegnede til indviklede designs, der kræver fine detaljer, mens større dyser kan fremskynde printprocessen.
Overhang	**Overhæng/udhæng**	Overhang refererer til materiale, der strækker sig ud over det forrige lag uden nogen støtte nedenunder. Det er grundlæggende et område, hvor printeren lægger materiale ned i luften. Overhang kan udgøre udfordringer, fordi det smeltede materiale har en tendens til at hænge eller synke, når det printes i luften. Uden den rette støtte kan disse sektioner muligvis ikke printes nøjagtigt. De fleste 3D-printere kan håndtere mindre overhang uden ekstra støtte op til en vis vinkel (normalt 45 grader) uden at kompromittere printkvaliteten. Men når overhang vinkel øges ud over printerens evne til at printe uden støtte, bliver "supportstrukturer" nødvendige. Supportstrukturer bruges til at give midlertidig støtte til overhang under printprocessen (de holder dem bogstaveligt talt oppe). Disse støtte strukturer fjernes senere manuelt eller ved opløsning, når printet er færdigt.
Print Bed Levelling	**Nivellering af byggepladen**	Print Bed Levelling sikrer, at byggeoverfladen på 3D-printeren er perfekt justeret og parallel med dysen/dyserne. En plan byggeplade er afgørende for vedhæftning og ensartet

© AM Learning Lab 2024.

		lagtykkelse. Hvis byggepladen er ujævn eller for langt væk/for tæt på dysen, kan det medføre vedhæftningsproblemer, hvilket kan resultere i dårlig printkvalitet eller endda printfejl. Korrekt bed-justering hjælper også med at opretholde en ensartet lagtykkelse over hele byggeoverfladen. Dette sikrer ensartethed og nøjagtighed i den printede del.
Quality Control	**Kvalitetskontrol**	Quality Control er en række processer og foranstaltninger, der implementeres for at sikre, at de printede objekter opfylder visse standarder, specifikationer og ønskede egenskaber.
Raft	**Raft**	Raft refererer til en supplerende struktur, der printes under selve delen. Det er et ekstra lag eller en række lag, der fungerer som en fundament- eller støtte struktur. Raften printes direkte på byggepladen og udgør en stabil base for de første lag. Rafts kan være nyttige ved at forbedre vedhæftningen
Slicer	**Slicer**	Slicer er software, der konverterer en 3D-model (typisk i STL- eller OBJ-filformat) til instruktioner (G-code), som 3D-printeren kan forstå og udføre. Sliceren opdeler 3D-modellen i tynde horisontale lag og genererer et sæt instruktioner til printeren om, hvordan hvert lag skal bygges for at skabe det endelige printede objekt. Slicer-softwaren giver brugerne mulighed for at justere forskellige parametre og indstillinger, der påvirker printprocessen, herunder lagtykkelse, printhastighed, infill-tæthed, supportstrukturer, brim, raft eller skirt og printtemperatur.
Toolpath	**Værktøjsbaner**	Toolpath refererer til den specifikke bane, som printhovedet (eller extruderen) følger, mens det aflejrer materiale og skaber hvert lag af den printede del. Toolpathen bestemmer, hvordan printeren bevæger sig over hvert lag, og den definerer også infill-mønstre, perimeter (ydervægge), top- og bundlag samt supportstrukturer. Optimering af toolpathen er afgørende for at opnå et nøjagtigt print med den ønskede overfladefinish, styrke og dimensionelle præcision.
UV Curing	**UV-hærdning**	UV Curing er en efterbehandlingsteknik, der primært anvendes i resinbaserede 3D-printprocesser som stereolitografi. Denne proces bruger flydende fotopolymerresin, som hærder eller størkner, når den udsættes for specifikke bølgelængder af ultraviolet (UV) lys. Når en del, der er lavet af resinbaseret materiale, er færdig med sin printcyklus, er den typisk ikke fuldstændig hærdet. Den forbliver i en semi-solid tilstand og kan have overskydende, uhærdet resin på overfladen. UV Curing udsætter delen for yderligere UV-lys for at fuldt ud hærde og størkne resinen. Denne UV-hærdning sikrer, at objektet opnår sine maksimale mekaniske egenskaber. UV Curing forbedrer styrken, holdbarheden og overfladefinishen af 3D-printede dele.
Viscosity	**Viskositet**	Viscosity refererer til et materiales modstand mod at flyde. Afhængigt af den anvendte 3D-printningsmetode kan "viskositet" have forskellige effekter. For eksempel i Fused Deposition

© AM Learning Lab 2024.

		Modelling (FDM) påvirker viskositeten, hvor glat materialet flyder gennem printerens dyse. Filament med højere viskositet kan have svært ved at flyde, hvilket kan føre til tilstopning og dermed en inkonsistent materialestrøm. Omvendt kan lav viskositet føre til overdreven materialestrøm, hvilket kan resultere i stringing eller hængende materialer mellem sektioner. I resinbaserede printmetoder som stereolitografi (SLA) påvirker viskositeten, hvordan materialet spreder sig over byggeplatformen og størkner, når det udsættes for lys. Resiner med højere viskositet har tendens til at sprede sig mindre, hvilket kan resultere i mindre detaljerede dele eller vanskeligheder med at opnå glatte overflader. Resiner med lavere viskositet flyder let, hvilket muliggør bedre detaljer i komplekse prints, men kan potentielt forårsage overfyldning eller unøjagtigheder, hvis det ikke kontrolleres korrekt.
Warping	**Vridning**	Warping er deformation eller løft af kanterne eller hjørnerne af en printet del, der opstår under eller efter printningen. Det sker, når områder af den printede del trækker sig sammen eller løfter sig væk fra byggepladen, hvilket resulterer i en forvredet eller forvrænget endelig del. Flere faktorer bidrager til warping, herunder temperaturudsving, dårlig vedhæftning til bedden, print på store flade overflader og høje printtemperaturer. Warping kan afhjælpes ved at anvende forskellige teknikker, såsom brug af en opvarmet byggeplade, en indkapsling, brug af vedhæftningshjælpemidler og optimering af printindstillinger.
X-Axis	**X-akse**	Typisk den horisontale akse, der løber fra venstre mod højre, vinkelret på Y- og Z-akserne.
Y-Axis	**Y-akse**	Typisk den horisontale akse, der løber fra fronten til bagsiden af printeren, vinkelret på både X- og Z-akserne.
Z-Axis	**Z-akse**	Z-Aksis er typisk den vertikale akse, der løber op og ned, vinkelret på X- og Y-akserne.

© AM Learning Lab 2024.

Eksempel på SDS Safety Data Sheet

Markforged

SAFETY DATA SHEET

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: Onyx
Chemical Family: Thermoplastic Polymer Composite
Chemical Name: Nylon Copolymer

Markforged, Inc
10 Fawcett St
Cambridge, MA 02143

Transportation Emergency
Company: +1 (617) 666-1935

Creation Date: 5/4/2016

2. HAZARDS IDENTIFICATION

No GHS classification.

Emergency Overview

Form: solid pellets **Odor:** slight
Melted product is flammable and produces intense heat and dense smoke during burning. Irritating gases/fumes may be given off during burning or thermal decomposition. May cause mechanical irritation (abrasion). Causes a slipping hazard if spilled. Contact with hot material will cause thermal burns.

Potential Health Effects

Primary Routes of Entry: Inhalation, Skin Contact, Eye Contact

Medical Conditions Aggravated by Exposure: Respiratory disorders

HUMAN EFFECTS AND SYMPTONS OF OVEREXPOSURE

Skin
Acute Skin
Contact with heated material can cause thermal burns.

Eye
Acute Eye
May cause mechanical irritation.

Inhalation
By products of processing may irritate the respiratory track.

General Effects of Exposure

Page 1 of 5

© AM Learning Lab 2024.

Acute Effects of Exposure
Gases and fumes evolved during the thermal processing or decomposition of this material may irritate the eyes, skin or respiratory tract.

Chronic Effects of Exposure
Not expected to cause any adverse chronic heath effects.

Carcinogenicity
Not a known carcinogen

3. COMPOSITION AND INFORMATION ON INGREDIENTS

Hazardous Components
As supplied, all ingredients are bound in the polymer matrix. Because they are bound in the matrix, they are not expected to create any unusual hazards when handled and processed according to good manufacturing and industrial hygiene practices and the guidelines provided in this SDS.

Name	CAS-No.	%	GHS-US classification
Nylon		Proprietary	Not classified
Carbon Fiber	Proprietary	Proprietary	Not classified
Caprolactam	Proprietary	Proprietary	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Acute Tox. 4 (Inhalation), H332 Skin Irrit. 2, H315 Eye Irrit. 2A, H319 STOT SE 3, H335

4. FIRST AID MEASURES

Eye Contact: In case of emergency, flush eyes with plenty of lukewarm water.

Skin Contact: In case of skin contact, wash affected areas with soap and water. Get medical attention if thermal burn occurs.

Inhalation: Not probable, Get medical attention.

Ingestion: Get medical attention.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable Extinguishing Media: water, foam, dry chemical, carbon dioxide (CO2)

Special Fire Fighting Procedures: Firefighters should be equipped with self-contained breathing apparatus to protect against potentially toxic and irritating fumes.

Unusual Fire/Explosive Hazards: Toxic and irritating gases/fumes may be given off during burning or thermal decomposition. Dust may form explosive mixtures with air.

© AM Learning Lab 2024.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Spill and Leak Procedures

Spilled pellets may cause a slipping hazard. Clean work areas as needed

© AM Learning Lab 2024.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling/Storage Precautions
Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practices. Store in a cool dry place.

8. PERSONAL PROTECTION/EXPOSURE CONTROL

Industrial Hygiene/Ventilation Measures
General dilution and local exhaust as necessary to control airborne vapors, mists, dusts and thermal decomposition products below appropriate airborne concentration standards/guidelines.

Hand Protection
Wear heat resistant gloves when handling molten material.

Eye Protection
Use safety glasses with side-shields.

Skin and Body Protection
Protective clothing such as coveralls or lab coats should be worn. Launder or dry-clean when soiled. Gloves and boots resistant to chemicals and petroleum distillates also recommended. Heat protective clothing should be worn when handling heated materials.

Respiratory Protection
Airborne concentrations should be kept to lowest levels possible. If vapor, mist or dust is generated and the occupational exposure limit of the product, or any component of the product, is exceeded, use appropriate NIOSH approved air purifying or air supplied respirator after determining the airborne concentration of the contaminant

Additional Protective Measures
Employees should wash their hands and face before eating, drinking, or using tobacco products. Educate and train employees in the safe use and handling of this product. Purgings should be collected as small flat thin shapes to allow for rapid cooling.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Form:	Solid
Appearance:	Pellets
Color:	Black
Odor:	Slight
Melting Point:	215-218°C
Specific Gravity:	>1.0
Solubility in Water:	Insoluble
Bulk Density:	35-45 lbs/ft3

10. STABILITY AND REACTIVITY

© AM Learning Lab 2024.

Stability
Stable under normal processing conditions

Materials to Avoid
Strong acids, strong oxidizing agents.

Conditions to Avoid
Processing temperature above 650°F

Hazardous Decomposition Products
Carbon monoxide, carbon dioxide, hydrocarbons, nitriles, hydrogen cyanide, amines, ammonia, ketone, amides

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

No specific information available

12. BIOLOGICAL INFORMATION

Material is not biodegradable

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Waste Disposal Method
The pellets, regrind and purge of this material are non hazardous and should be discarded in accordance with existing federal, state, and local environmental control laws.

14. TRANSPORTATION INFORMATION

Land Transport (DOT)
Non-Regulated
Sea Transport (IMDG)
Non-Regulated
Air Transport (ICAO/IATA)
Non-Regulated

15. REGULATORY INFORMATION

SARA Title III:

Section 313 Toxic Chemicals: None

© AM Learning Lab 2024.

16. OTHER INFORMATION

HMIS Rating

Health	1
Flammability	1
Physical Hazard	0

0=Minimal 1=Slight 2=Moderate 3=Serious 4=Severe
*=Chronic Health Hazard

Markforged's method of hazard communications is comprised of Product Labels and Safety Data Sheets. HMIS and NFPA ratings are provided by Markforged as a customer service.

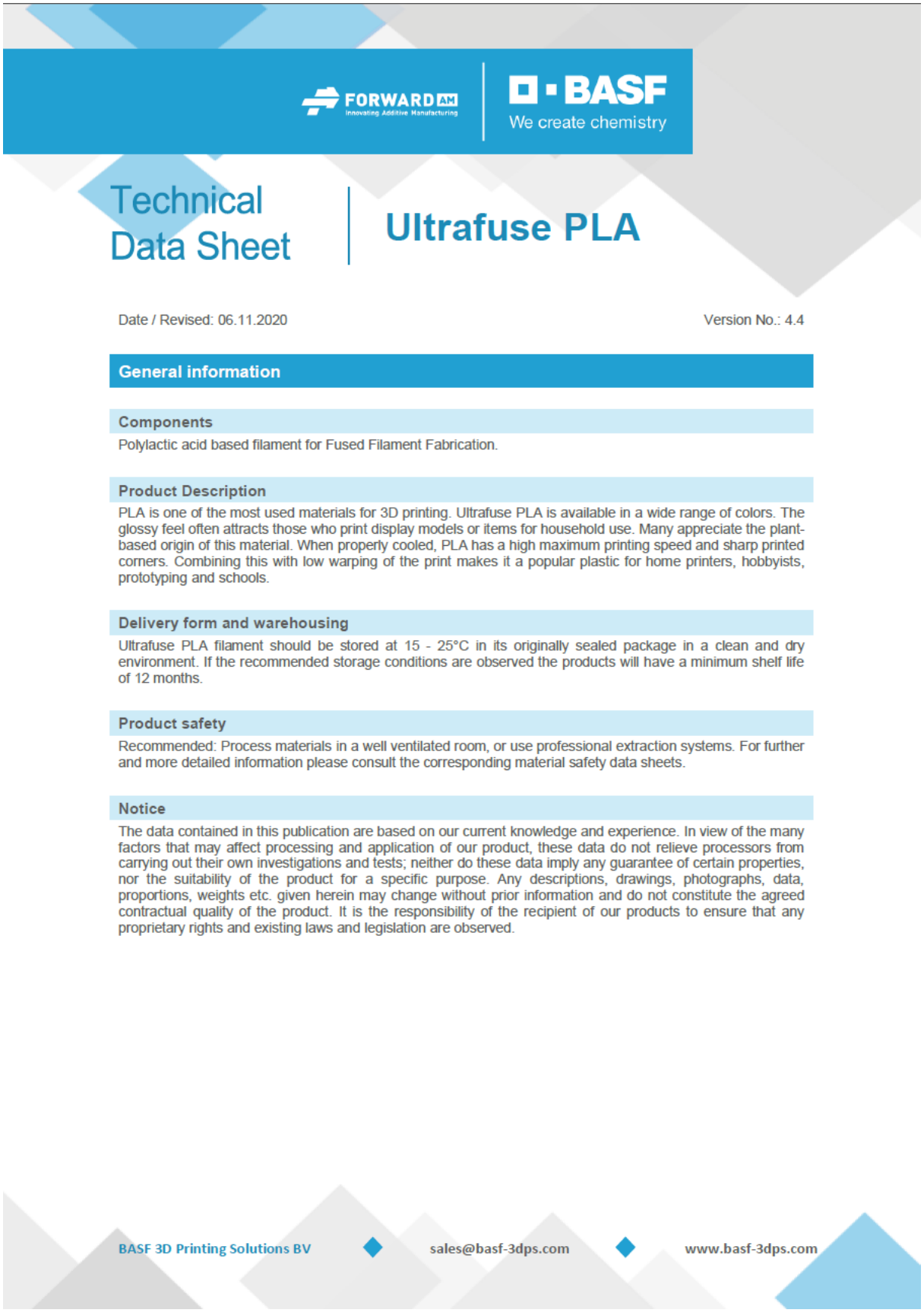
Contact Person: Product Safety Department
Telephone: (856) 467-3030

This information is furnished without warranty, express or implied. This information is believed to be the best knowledge of Infinity Compounding Corporation. The information in this SDS relates only to the specific material designation herein. Markforged, Inc assumes no legal responsibility for use of or reliance upon the information in this SDS.

CREATED: 5/4/2016

© AM Learning Lab 2024.

Eksempel på TDS Technical Data Sheet



FORWARD AM
Innovating Additive Manufacturing

BASF
We create chemistry

Technical Data Sheet | Ultrafuse PLA

Date / Revised: 06.11.2020 Version No.: 4.4

General information

Components

Polylactic acid based filament for Fused Filament Fabrication.

Product Description

PLA is one of the most used materials for 3D printing. Ultrafuse PLA is available in a wide range of colors. The glossy feel often attracts those who print display models or items for household use. Many appreciate the plant-based origin of this material. When properly cooled, PLA has a high maximum printing speed and sharp printed corners. Combining this with low warping of the print makes it a popular plastic for home printers, hobbyists, prototyping and schools.

Delivery form and warehousing

Ultrafuse PLA filament should be stored at 15 - 25°C in its originally sealed package in a clean and dry environment. If the recommended storage conditions are observed the products will have a minimum shelf life of 12 months.

Product safety

Recommended: Process materials in a well ventilated room, or use professional extraction systems. For further and more detailed information please consult the corresponding material safety data sheets.

Notice

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

BASF 3D Printing Solutions BV ◆ sales@basf-3dps.com ◆ www.basf-3dps.com

© AM Learning Lab 2024.

Recommended 3D-Print processing parameters	
Nozzle Temperature	210 – 230 °C / 410 – 446 °F
Build Chamber Temperature	-
Bed Temperature	50 – 70 °C / 122 – 158 °F
Bed Material	Glass
Nozzle Diameter	≥ 0.4 mm
Print Speed	40 - 80 mm/s

Drying Recommendations	
Drying recommendations to ensure printability	PLA is in a printable condition, drying is not necessary

General Properties		Standard
Printed Part Density	1248 kg/m^3 / 77.9 lb/ft^3	ISO 1183-1

Thermal Properties		Standard
HDT at 1.8 MPa	55 °C / 131 °F	ISO 75-2
HDT at 0.45 MPa	65 °C / 149 °F	ISO 75-2
Glass Transition Temperature	61 °C / 142 °F	ISO 11357-2
Melting Temperature	151 °C / 304 °F	ISO 11357-3
Melt Volume Rate	21.2 cm^3/10 min / 1.29 in^3/10 min (220 °C, 5 kg)	ISO 1133

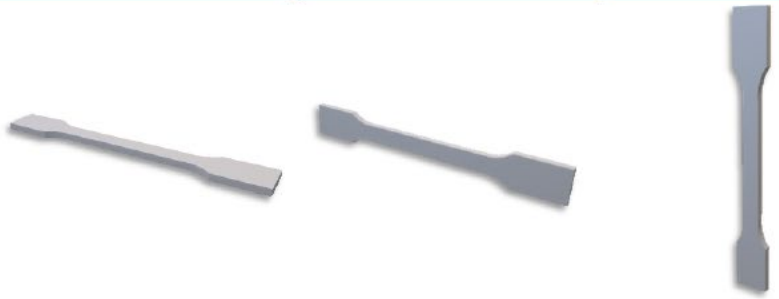
BASF 3D Printing Solutions BV ◆ sales@basf-3dps.com ◆ www.basf-3dps.com

© AM Learning Lab 2024.

Technical Data Sheet for Ultrafuse PLA

Version No. 4.4

Mechanical Properties



Print direction	Standard	XY	XZ	ZX
		Flat	On its edge	Upright
Tensile strength	ISO 527	34.7 MPa / 5.0 ksi	-	21.2 MPa / 3.1 ksi
Elongation at Break	ISO 527	4.2 %	-	1.2 %
Young's Modulus	ISO 527	2308 MPa / 335 ksi	-	2131 MPa / 309 ksi
Flexural Strength	ISO 178	98.0 MPa / 14.2 ksi	105 MPa / 15.2 ksi	54.9 MPa / 8.0 ksi
Flexural Modulus	ISO 178	1860 MPa / 270 ksi	1708 MPa / 247 ksi	1715 MPa / 249 ksi
Flexural Strain at Break	ISO 178	4.8 %	4.2 %	1.9 %
Impact Strength Charpy (notched)	ISO 179-2	2.5 kJ/m²	1.9 kJ/m²	1.7 kJ/m²
Impact Strength Charpy (unnotched)	ISO 179-2	13.2 kJ/m²	14.3 kJ/m²	4.3 kJ/m²
Impact Strength Izod (notched)	ISO 180	3.3 kJ/m²	2.1 kJ/m²	1.6 kJ/m²
Impact Strength Izod (unnotched)	ISO 180	11.0 kJ/m²	9.6 kJ/m²	4.7 kJ/m²