Rīgas 64. Vidusskola

**3D drukāto detaļu aizpildījuma struktūra**

Zinātniskās pētniecības darbs fizikā

**Darba autors:**

Rīgas 64. vidusskolas 12. INZ klases skolnieks

Artūrs Kurmahins

**Darba vadītājs:**

Rīgas 64. vidusskolas fizikas skolotājs

Mihails Vdovičenko

Rīga 2025

# Anotācija

3D drukāto detaļu aizpildījuma struktūra. Artūrs Kurmahins, Rīgas 64. vidusskolas 12. INZ klases skolēns. Darba vadītājas Rīgas 64. vidusskolas fizikas skolotājs Mihails Vdovičenko.

Zinātniski pētnieciskā darba mērķis ir izpētīt 3D drukas pielietojumu sporta nozarē, izveidot savu sporta inventāru, kuram testēs izturību ar dažādiem aizpildījuma kustības zīmējumiem. Teorijas daļā tika pētītas dažādas 3D drukas metodikas, piedevu ražošanas vēsture, 3D drukas pielietojums sportā un detālu aizpildījuma īpašību apskats. Praktiskajā daļa tiek paskaidrots, kā testēšanas iekārta tika veidota, 3D drukātās detaļas izveide. Kā arī tiek paskaidrots, kā testi tiek veikti un testu rezultātu apstrāde.

Atslēgas vardi: 3D druka, Sports, 3D modelēšana.

# Saīsinājumi un terminoloģijā

3D Trīsdimensionāls.

SLA (*Stereolithography*) – stereolitogrāfija. Vannas fotopolimerizācija 3D drukas process.

DLP (*Digital Light Processing*) – Digitālās gaismas apstrāde. Vannas fotopolimerizācija 3D drukas process.

FDM (*Fused Deposition Modeling*) – Kausētā nogulsnēšanās modelēšana. Materiāla ekstrūzija 3D drukas process.

FFF (*Fused Filament Fabrication*) – Kausēta kvēldiega izgatavošana. Materiāla ekstrūzija 3D drukas process.

SLS (*Selective Laser Sintering*) – Selektīva lāzera saķepināšana. Pulvera gultas saplūšanas 3D drukas process.

MJF (*Multi Jet Fusion*) – Vairāku strūklu saplūšana. Pulvera gultas saplūšanas 3D drukas process.

DMLS (*Direct Metal Laser Sintering*) – Tieša metāla lāzera saķepināšana. Pulvera gultas saplūšanas 3D drukas process.

.stl 3D modeļa faila formāts.

.gcode (*G-code* vai *Geometric Code*) – Ģeometriskais kods. Fails, kas glabā komandas 3D printerim drukai.

CAD (*Computer-aided design*) – Datorizēts dizains. Programatūra priekš 3D modeļu veidošanas.

PLA (*Polylactic Acid*) - Polilaktīnskābe. Viss izplatītākais polimers, kas tiek izmantots 3D drukā.

Saturs

[Anotācija 2](#_Toc184670641)

[Saīsinājumi un terminoloģijā 3](#_Toc184670642)

[Ievads 5](#_Toc184670643)

[1. Literatūrā daļa 6](#_Toc184670644)

[1.1 Ieskats 3D drukā 6](#_Toc184670645)

[1.1.1 Kas ir 3D druka? 6](#_Toc184670646)

[1.1.2 3D drukas sākums 7](#_Toc184670647)

[1.1.3 3D druka mūsdienās 7](#_Toc184670648)

[1.2. Sports ar 3D druku 8](#_Toc184670649)

[1.2.1 3D izdrukātais sporta inventārs 8](#_Toc184670650)

[1.2.2 3D druka un piekļuve sportam ikvienam 8](#_Toc184670651)

[1.3 3D drukātās detaļas aizpildījums 8](#_Toc184670652)

[1.3.1 Kas tas ir? 8](#_Toc184670653)

[1.3.2 Aizpildījuma kustību modeļu īpatnības 9](#_Toc184670654)

[2. Praktiskā daļa 9](#_Toc184670655)

[2.1 Detaļas veidošana 9](#_Toc184670656)

[2.2 Testēšanas iekārta un testi 11](#_Toc184670657)

[2.3 Iegūto datu analīze 12](#_Toc184670658)

[Secinājumi 14](#_Toc184670659)

[Atsauces 15](#_Toc184670660)

[Pielikumi 16](#_Toc184670661)

# Ievads

3D druka mūsdienās sāk būt vairāk pielietota, lai izgatavot daudzu un dažādu formu detaļas, kuras tiek izmantotas sadzīvē. To uz doto brīdi visvairāk pielieto parastie cilvēki, kuriem pieder savs 3D printeris savām vajadzībām, bet ir arī uzņēmumi, kuri nebaidās izmantot 3D druku savas preces izgatavošanā. 3D druka var būt daudzveidīgā, kas nozīmē, ka ar pareizām prasmēm ir iespējams pagatavot gandrīz jebko, pietam ne vienmēr ir jāveido savs 3D modelis, lai izdrukāt kaut ko, jo ir cilvēki, kuri jau ir izveidojuši modeli un tev vajag tikai to izdrukāt. Pietam, ja tev nav iespējas pašam izdrukāt objektu, ir kompānijas, kuras ir gatavas izdarīt to tavā vietā.

Ar šo tehnoloģiju nāk inovatīvie risinājumi ikdienas problēmām. Daudzas nozares izmanto 3D druku, lai attīstīt savu nozari, un sports ir viņš no tām. Sports un aktīvs dzīves veids ir svarīga daļa no cilvēka dzīves un 3D druka var dot piekļuvi šai aktivitātei, bet lai izdarīt to maksimāli efektīvi, ir jāzina daudzas 3D drukas nianses. Vien no tām ir izdrukātā objekta iekšējā struktūra, kas var ietekmēt detaļas cenu, izturību un pagatavošanas laiku.

**Hipotēze:** Izturīgākā, lētākā un ātrāk pagatavotā detaļa salīdzinājumā ar visiem modeļiem būs ar triheksagonāla aizpildījuma kustības modelis.

**Pētījuma mērķis:** Izpētīt 3D drukas pielietojumus sportā; izveidot savu 3D drukāto objektu, kas būs saistīts ar sportu, un pārbaudīt tās izturību, iztērētā materiālā daudzumu un drukas ilgumu ar dažādiem aizpildījuma kustības zīmējumiem.

**Pētījuma uzdevumi:**

1. Apkopot pieejamo informāciju par 3D drukas vēsturi, veidus un pielietojumu sportā;
2. Izpētīt aizpildījuma kustību zīmējumu (piem. kvadrāta, trijstūra u.c.) īpašības;
3. Pagatavot savu 3D drukāto modeli ar pielietojumu sportā;
4. Izveidot testēšanas iekārtu, lai pārbaudīt savas izveidotās detaļas izturību ar dažādām iekšējām struktūrām;
5. Veikt testus un apkopot to rezultātus, salīdzinot dažādu aizpildījumu drukas laiku, materiāla izmantošanu un izturību.

**Pētījumā izmantotās metodes:**

1. Literatūras analīze;
2. 3D modelēšana – sporta inventāra izveide;
3. Testēšanas iekārtas izveide;
4. Eksperimenta izstrāde;
5. Eksperimenta rezultātu apkope – datu salīdzināšana.

# 1. Literatūrā daļa

## 1.1 Ieskats 3D drukā

Piedevu ražošana, jeb 3D druka ir ļoti plaša nozare ar lielu vēsturi un daudz dažādiem drukas procesiem.

### 1.1.1 Kas ir 3D druka?

3D druka ir process, kurā 3D objekts, kurš tika uztaisīts digitāli, ir, slāni pa slāni, izveidots īstajā dzīvē. Lai iegūt rezultātu, ir nepieciešams 3D modulis, kuru var izgatavot pašam, vai arī atrast internetā. Moduli ir jāsagriež caur griešanas programmatūru, lai tālāk padot to 3D printerim, kurš, izmantojot instrukcijas no sagrieztā moduļa, izgatavos vajadzīgo detaļu. [1]

Ir seši dažādi 3D drukas veidi: vannas fotopolimerizācija, materiālu strūkla, saistvielu strūkla, materiāla ekstrūzija, pulvera gultas saplūšana un virzīta enerģijas nogulsnēšana.

Vannas fotopolimerizācija ir process, kurā konteiners piepildīts ar foto polimera sveķi ir pa slāņiem apspīdēts konkrētā zīmējumā ar ultravioleto gaismu, rezultātā apgaismotās vietas kļūst cieta. Šis process ir uzskatīts par precīzāko no visam. Šo metodiku izmanto divas līdzīgas tehnikas: SLA un DLP. [2] Tomēr DLP atšķiras no SLA, jo DLP neizmanto ultravioleto lāzeru, bet citus ultravioletos avotus, piemēram, loka spuldze. Tādēļ šī tehnika ir ātrāka par SLA. Kā arī DLP ir lētāka metode par SLA, jo detaļa tiek izgatavota apgriezta iemērcēta polimerā, mazinot atlikušā foto polimera daudzumu. [3]

Materiālu strūkla ir līdzīgs vannas fotopolimerizācija, bet šajā procesā nav liela konteinera, kurā ir veidota detaļa. Izejmateriāls ir pilienos izliets tievos slāņos un pēc tam sacietināts zem ultravioletas gaismas. [2] Rezultātā veidojas precīzas detaļas ar ļoti gludu apdari. [3] Tur pretī saistvielu strūkla neizmanto ultravioletu gaismu, lai pataisīt polimeru cietu. Saistvielu strūklā ir izmantots pulvera bāzes materiāls un šķidra saistviela [2], kas var būt dažādu krāsu, kas ļauj gatavot objektus uzreiz krāsainus. Ka arī detaļas pagatavošanā nav nepieciešami pabalsti, jo pulveris jau ir pabalsts. [3] Liekais pulveris var būr izmantots vēlreiz, jo viņš nebija gājis kontaktā ar saistvielu. [2] Taču izgatavotās detaļas nav pašas izturīgākās, tāpēc tai ir nepieciešama pēc apstrāde. [3]

Materiāla ekstrūzija ir divi veidi FDM un FFF, bet īstenībā viņi ir līdzīgas, jo FFF bija izdomāts “RepRap” iniciatīvas ietvaros, lai apiet patentu uz tehnoloģiju. Materiāla ekstrūzija ir kvēldiegs, kas no spoles ir barots ekstrūzijas sprauslā, kurā tas ir karsēts, līdz kušanas temperatūrai un izspiesta uz darba virsmas. Sprausla var izslēgt un ieslēgt materiāla padevi, kā arī novietot to visos virzienos. [2] Lai izgatavot detaļas ar arkām un karojošajām vietām ir nepieciešami balsti, tomēr FDM tie var būt no ūdenī šķīstoša polimera, kas pavieglo to noņemšanu. Kā arī FDM ir precīzāks par FFF, bet FFF ir vieglāk pieejams priekš iesācējiem. [3]

Pulvera gultas saplūšana sevī satur trīs variācijas: SLS, MJF un DMLS. SLS tehnoloģijā tiek pielietots lielas jaudas lāzers, kas izkausē mazas plastmasas daļiņas pulverī. Kad lāzers pabeidz slāni, pa virsu tam ir uzbērts jauns pulveri un process atkārtojās. [2] Diemžēl detaļas pagatavotas ar šo procesu ir veidotas ar porām. Kā arī detaļai vajag daudz laika, lai atdzist. [3] DMLS ir līdzīga tehnoloģija, tikai vietā plastmasas ir izmantots metāla pulveris un lāzers ir vel jaudīgāks, lai spēt izkausēt metālu. Gan SLS, gan DMLS neskarto pulveri var izmantot atkārtoti. MJF Nedaudz atšķiras no iepriekšējiem procesiem, jo te nav izmantots lielās jaudas lāzers, bet gan saistviela, kura ir pievienota pulverim, tomēr, lai izgatavot nepieciešamo detaļu, beigās visu ir jāuzsilda, lai sāktos materiāla un saistvielas reakcija.

Virzīta enerģijas nogulsnēšana ir biezāk izmantota metalurģijā. 3D printera aparatūra ir piestiprināta, pie robota rokas, kas var kustēties visos virzienos. Metāla stieple vai pulveris ir kausēts ar lielu enerģijas devi, piemēram, lāzers, plazma vai elektronu stars. [2]

### 1.1.2 3D drukas sākums

3D drukas idejas zinātniskajā fantastikā parādījās daudz agrāk par tās izgudrošanu. Pirmo reiz šo ideju paradīja Marejs Leinsters savā īss daiļliteratūras stāstā “Lietas paiet garām”. Minētājā stāstā bija parādīts, kā plastmasa ir barota mehānisma, kas izskatās pēc rokas, kas sākumā zīmēja skici gaisā un pēc tam uz tās veidoja priekšmetu no plastmasas.

Pirmie soļi 3D printeru veidošanai bija veikti 1971. gadā, kad Johanness F. Gotvalds izveidoja patentu iekārtai, kur sauca “Šķidrā metāla ierakstītājs”. Dotā iekārta izmantoja šķidro metālu, kur to lēja pa slāņiem, lai izveidoto nepieciešamo priekšmetu. 1980. gadā Hideo Kodama piedāvāja izmantot vietā metāla polimeru, kas zem ultravioletas gaismas paliktu ciets un viņš izveidoja patentu šai tehnoloģijai novembrī 1981. gadā. Tomēr neviens nebija ieinteresēts šajā izgudrojumā. Rezultātā ideja bija atmesta, kā komerciāli neizdevīga. [4]

Čaks Hols 1986. gādā izdeva patentu savam izgudrojumam ar nosaukumu “Stereolitogrāfija”, saīsināti SLA. Pateicoties viņa izveidotajai tehnoloģijai, Čaku Holu uzskata par 3D drukas izgudrotāju, pietam, viņš ir izveidojis .stl failu formātu, kurš ir joprojām lietots 3D modelēšanā un drukāšanā. [5] 1987. gadā Čaks Hols izdeva savu pirmo 3D printeri SLA-1, kurš bija spējīgs veidot kompleksas detaļās slāni pa slānim. Tomēr iekārta bija dārga un pieprasīja polimerus, kuri, uz doto brīdi, nebija viegli pieejami un polimeru daudzveidība bija ierobežota tā dēl 3D druka bija pieejama tikai lieliem uzņēmumiem. [4]

Teksasas Universitātes students Kārlis Dekards 1988. gadā licencēja 3D drukas metodiku, kuru sauca “Selektīva lāzera saķepināšana” jeb SLS. Šī metodika iekļāva sevī pulverveidīgās plastmasas kausēšana un sacietēšanā ar lāzeru, tomēr pirmais SLS printeris kļuva komerciāli pieejams tikai 2006. gadā. 1989. gadā Skots Kramps izdeva patentu uz “Kausētā nogulsnēšanās modelēšanu” (FDM).

2005. gadā atvērtā koda iniciatīva ar nosaukumu “RepRap” dibināja doktors Adrians Boujers. Iniciatīvas pamatā bija domā, ka printerim ir jābūt spējīgam izgatavot pats sevi, vai arī, vismaz lielāko daļu detaļu. No šīs idejas radās 3D printeris, kuru sauca “RepRap”, kurš kļuva par piemēru lētiem un viegli pieejamiem 3D printeriem. Pats “RepRap” printeris sastāvēja lielākoties no plastmasas detaļām, kas nozīmēja tās var izdrukāt uz šī paša printera nepieciešamības gadījumā. [5]

### 1.1.3 3D druka mūsdienās

Mūsdienu 3D printeri ir daudz spējīgāki nekā pagātnē. Viņi kļuva precīzāki, pietam parādījās jauni materiāli, kurus varēja izmantot 3D drukā. [4], [5] Daudzas nozares tagad izmanto 3D druku savām vajadzībām, piemēram, auto industrija, medicīna, aviācija, arhitektūra, celtniecība un daudzas citas. [4], [1]

Materiālu daudzveidība ļāva rasties vairākiem pielietojumiem 3D drukai. Paradījās izejmateriāli, kurus varēja izmantot detaļu veidošanā ar specifiskām īpašībām: siltumizturīgs, ķīmiski izturīgs, liesmu slāpējošs un tā tālāk. Pietam ir arī iespējas izmantot ne tikai polimerus, bet arī metālus, oglekļa šķiedra, stikla šķiedra un citi. Materiālu daudzveidības piemērs varētu būt tā saukuma “bio-tinte”, kur ražo Zviedrijas uzņēmums “Cellink”. Šīs materiāls ir balstīts uz jūraszālēm un viņu var izmantot bioloģisko audu veidošanā un potenciāli cilvēku orgānu. [5]

## 1.2. Sports ar 3D druku

### 1.2.1 3D izdrukātais sporta inventārs

3D drukai ir daudz priekšrocību sporta inventāra izgatavošanā. Tā dod iespēju inovācijām ar savu ātrumu, vieglo piekļuvi un daudzveidīgo pielietojumu [6], un ir cilvēki kuri ir gatavi izmantot šo tehnoloģiju jaunos virzienos ar inovatīvām idejām. [7, p. 146]

Jau tagad profesionālais sports izmanto 3D druku savām vajadzībām, piemēram, ar 3D drukas palīdzību izgatavotie skriešanas apavi, kuri var būt viegli pielāgoti konkrētam sportistam, palielinot komfortu. [8] Tomēr ne tikai komfortu var uzlabot ar šo tehnoloģiju. Var arī izgatavot sporta piederumus kā ķiveres vai iemutņi, pielāgotos konkrētam cilvēkam, pataisot tos daudz drošākus. Kā arī piekļuve dažādiem materiāliem un iespējam izgatavot sarežģītas formas, ļauj pagatavot inovatīvos sporta piederumus. [6] Vel viena lieta, kas tiek pagatavota uz 3D printera, ir sportista vajadzībām pielāgotais, unikālais apmācību aprīkojums. Tas var uzlabot treniņu efektivitāti un samazināt iespēju iegūt traumu.

Ir arī izaicinājumi, par kuriem ir jādomā. Piemēram, izgatavotās detaļas kvalitāte var atšķirties no daudziem faktoriem: 3D printera, aparatūras iestatījumiem, materiāla un tā tālāk. Nedrīkst arī aizmirst par regulācijām, kas nosaka ekipējuma drošību. Tie var aizturēt inovācijas un, lai implementēt ekipējumu, būs nepieciešams vairāk laiks. [8]

### 1.2.2 3D druka un piekļuve sportam ikvienam

Ar mājas 3D printeri rodas jauni veidi, kā risināt savas ikdienas problēmas [7, p. 147], un viena no tām ir sports. Ja apskatīties 2023. gada aptauju par cilvēku priekšrocībām vietās, kur sporto, var redzēt, ka vairākums no apjautātajiem (52.6%) izvēlās sportot ārpus trenažieru zālēm, mājās vai ārā [9], tātad ir liela daļa cilvēku, kas vēlas sportot un viņiem ir nepieciešams sporta inventārs. To var arī pagatavots pašam uz sava 3D printera vai arī, ja nav printera vai arī gribas izmantot specifisko materiālu, ir ārējie servisi, kas var izdrukāt tev nepieciešamo. [7, p. 107]

3D druka var ļaut cilvēkiem ar invaliditāti piedalīties sportā. Ar 3D printeru var pagatavot protēzes, kas pielāgosies vislabāk konkrētam cilvēkam. Pietam, ja protēze tiks bojāta, to varēs viegli atremontēt, izdrukājot un aizvietojot bojāto detālu. [6]

## 1.3 3D drukātās detaļas aizpildījums

### 1.3.1 Kas tas ir?

Detaļas aizpildījums 3D drukā var būt ne tikai ciets, bet arī gan tukša, gan daļēji tukša, lai īsināt drukas laiku un samazināt materiāla patēriņu. Lai daļēji aizpildīt elementu var būt izmantoti vairāki kustības modeļiem, piemēram, kvadrāts, trīsstūris, sešstūris un citi. Šķēles programmatūrā priekš 3D drukas iestatījums ir arī aizpildījuma procentuālā vērtība, kas iestata, cik liela daļa no elementa iekšienes būs aizpildīta. [7, p. 48]

### 1.3.2 Aizpildījuma kustību modeļu īpatnības

Tādēļ, ka aizpildījums sastāv no ģeometriskam figūrām, tam piemīt ģeometriskās īpašības, kas var gan palielināt izturību, gan samazināt. Balstoties uz All3DP veiktiem testiem par stiprāko aizpildījuma rakstu 3D drukā, var secināt, ka stiprākais raksts priekš stiepes bija regulārais sešstūris [10], bet, skatoties uz celtniecības sfēru, var redzēt, ka trīsstūris ir labāka forma. Trīsstūru īpašībā, nebūt deformētam, nemainot visu savu sānu garumus, ļauj iegūt nepieciešamo izturību. Tomēr arī regulārie sešstūri tiek pielietoti celtniecībā, jo tie arī ir izturīgi, bet ne tik, cik trīsstūri. [11], [12]Protams var būt arī izmantotas citas formas, piemēram, kvadrāts, bet tas nevarēs konkurēt ar trīsstūri vai sešstūrī. [11]

Bieži 3D drukā parastie cilvēki izmanto giroīda aizpildījuma modeli. Šī forma tika atklāta 1970. gadā un to atklāja Alans Šoens. [13] Forma ir ņēmusi savu sākumu no ziepju plēves un burbuļiem. Tie veido minimālo virsmu, kas ir iespējama, jo burbuļu plēve tiecas pēc vienāda gaisa spiediena no abām pusēm. Tātad giroīds ir figūra ar minimālo virsmu. [14] Ar šo aizpildījuma zīmējumu ir efektīvi izmantots materiāls, kā arī šī figūra paātrina druku. Pateicoties aizpildījuma lokanai formai, ir zemāki riski deformācijai atsildoties, tiek mazināts detaļas svars un palielināta izturība. [13]

# 2. Praktiskā daļa

## 2.1 Detaļas veidošana

Detaļa, kura tiks testēta ar dažādiem aizpildījuma zīmējumiem, ir veidota priekš pievilkšanās stieņa. Šī detaļa fiksē stieni pie durvju ejas augšējās daļas, lai uz tā varētu pievilkties. Ar šo priekšmetu varēs atvieglot piekļuvi aktīvam dzīves veidam, kas mūsdienas ir nepieciešams. Ja ir vajadzībā dotajā sporta inventārā, to varēs izdrukāt uz mājas 3D printera un, ja tā tiek bojāta, to ir viegli aizvietot ar jaunu. Lai turētu stieni ir nepieciešami divas detaļas, kas tur stieni savā pusē, lai spēks tiktu sadalīts vienlīdzīgi.

Attēls, kurā ir dizains

Apraksts ģenerēts automātiski

1. attēls: Ekrān šāviņš no “FreeCAD”. Pievilkšanās stieņa fiksētais pie durvju ejas augšdaļas)

Lai pagatavot detaļu ir, pirmkārt, jāizveido rasējums tai. Tālāk, balstoties uz rasējuma, tiks izveidots 3D modelis, uz kura pamata tiks izdrukāta detaļa. 3D modelēšanai tika izmantota CAD programatūra ar nosaukumu “FreeCAD”, kas ir atvērtā koda programatūra. Kad detāla būs izveidota kā 3D modelis, to varēs eksportēt ar .stl faila tipu, kas ir priekš 3D modeļiem. Tomēr, lai modeli varētu izdrukāt, to ir jāizlaiž caur griešanas programatūru, kas pataisa .stl formāta modeli par 3D printerim piemērotām komandām .gcode formātā. Autors izmantota “UltiMaker Cura”, kura tika iestatīti parametri detaļas drukai uz 3D printera.

Tādēļ, ka te tiks testētas tikai aizpildījuma kustības zīmējuma parametrs, Visām drukātiem priekšmetiem, visi parametri būs vienādi izņemot aizpildījuma. Kā konstanta tiek ņemts 15% aizpildījums, kā arī, lai būtu iespējams pareizi izdrukāt detaļu, tie iestatīti pabalsti, kas ļauj printēt arkas.

Attēls, kurā ir teksts, ekrānuzņēmums, programmatūra, displejs

Apraksts ģenerēts automātiski



1. attēls: Ekrān šāviņš no “UltiMaker Cura”. Griešanas programatūras iestatījumi. Iezīmēts ar dzeltenu ir iestatījums, kas tiks mainīts priekš katras detaļas)

Tādēļ, ka plastmasas detaļa ir kontaktā ar metāla skrūvēm, kas tur to vietā, uz savienojuma vietu iedarbojas liela slodze. Lai detaļas izturība nebūtu ietekmēta ar stiprināšanu, tās pamats ir veidots ar 100% aizpildījumu:

Attēls, kurā ir bērnu māksla, ekrānuzņēmums, zīmējums, dizains

Apraksts ģenerēts automātiski

1. attēls: Ekrān šāviņš no “UltiMaker Cura”. Ar zilu apviltas vietas ar 100% aizpildījumu)

Drukā tiek izmantots FFF tipa 3D printeris “Ender-3 V3 SE” ar ekstrūzijas galvas diametru 0,4 mm. Slāņu augstums ir iestatīts uz 0,26 mm. Detaļas tika izgatavotas no melna PLA plastmasas no ražotāja “Gembird3” ar standart diametru 1,75 mm.

Lai mazināt ietekmi no drukas kļūdām, detaļa ar konkrēto aizpildījuma zīmējumu tiks testēta trīs reizes un būs paņemts vidējais aritmētiskais rezultāts, kas tiks salīdzināts.

Būs pārbaudīti 7 dažādi aizpildījuma zīmējumu vaidi: režģis, līnijas, trīsstūris, trīsstūru sešstūru aizpildījums, kubisks, koncentrisks un giroīds. Katram aizpildījumam ir nepieciešams dažāds laiks un materiāla daudzums, kā arī, potenciāli, izturība.

## 2.2 Testēšanas iekārta un testi

Lai veikt testus izveidotām detaļām ar dažādām aizpildījuma kustību moduļiem, ir nepieciešami izveidot testēšanas iekārtu, kas darbosies uz detaļu stiepjot to. Lai iegūt to spēku, kuru var izturēt detaļa, tiek izmantoti karamie svari. Šo svaru radījumu kļūda ir kg. Lasījumu no svariem iegūst masas spēkā (kg), bet tos var pārtaisīt spēkā (N) izmantojot formulu:

F – Spēks (N); m – Masa (kg); g – vidējais brīvā krišanas paātrinājums Zemes virsmas tuvumā ().

Tomēr, jo svari var rādīt līdz pat 50 kg, ir nepieciešams trīšu bloks, kas ļauj pareizināt spēku, kas iedarbojas uz detaļu, rezultātā iegūstot lielāku spēka iedarbību uz detaļu. Dotajos testos tiks izmantots trīšu bloks, kas pareizina spēka iedarbību uz četrām reizēm. Tas nozīmē, lai uzzināt konkrēto spēku, kas iedarbojas uz detaļu, radījumu no svariem ir jāpareizina uz četri. Trīši tiek drukāti uz 3D printera ar 100% aizpildījumu, lai tie varētu izturēt lielus spēkus.

Attēls, kurā ir rokraksts, rinda, teksts

Apraksts ģenerēts automātiski

1. attēls: Izmantotā trīšu bloka darbības principa zīmējums)

Lai vilkt virvi pakāpeniski un ar lieku spēku, tiek izmantota vinča – iekārta, kas ļauj, griežot rokturi, viegli iedarboties uz virvi ar milzīgu spēku. Lai to panākt tiek izmantoti zobrati, griežot lielo zobratu caur mazo, var palielināt spēku, bet samazināt griešanas ātrumu. Vinčas veiktais darbs iedarbojas uz detaļu ar četrkāršo spēku pateicoties trīšu blokam.

Testēšanas iekārtas karkass tiek būvēts no koka dēļiem, kuru sākotnējie lielumi ir 85x50x950 mm. Dēļi tiek griesti tiem piemērotos garumos un saskrūvēti kopā ar skrūvēm. Vilka arī tiek pieskrūvēta pie karkasa. Svari ir piesieti pie karkasa ar virvi un detaļa ir pieskrūvēta pie karkasa pamatnes ar devām skrūvēm. Tur pretī detaļa ir savienota ar trīsi caur koka kātu, kas imitē stieni.

Attēls, kurā ir teksts, diagramma, rokraksts, rinda

Apraksts ģenerēts automātiski

1. attēls: Testēšanas iekārtas karkasa rasējums, garumi ir mm. Pa kreisi priekšējās daļas skats, pa labi sānskats)

Testu laikā radījums no svariem tiek fiksēts uz telefona kameras. Rezultātu varēs redzēt uz video sekundi pirms detaļa sabrūk. Autors griež vinčas rokturu līdz brīdim, kad stieņa turētais salūzt.

## 2.3 Iegūto datu analīze

Testos iegūtie dati ir apkopoti tabulā:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Detaļas aizpildījuma zīmējums | Drukas laiks (min) | Izlietotā materiāla daudzums spolē (m) | Detaļas sabrukšanas spēks (N) |
| Režģis | 89 | 8,41 |  |
| Līnijas | 91 | 8,4 |  |
| Trīsstūris | 90 | 8,35 |  |
| Trīsstūru-sešstūru aizpildījums | 87 | 8,4 |  |
| Kubisks | 88 | 8,4 |  |
| Koncentrisks | 72 | 7,63 |  |
| Giroīds | 99 | 8,42 |  |

1. attēls: Izmantotā materiāla (spoles garumā) diogramma)

Salīdzinot dažādu aizpildījumu modeļu materiāla nepieciešamību, var redzēt to, trīs no septiņām, detaļām izmanto 8,4 metrus PLA kvēldiega. Viss mazāk materiālā tika izmantota detaļas drukā ar koncentrisko aizpildījumu – 7,63 metri. Tur pretī viss vairāk materiāla (8,42 metri) patērēja giroīda aizpildījums. Tomēr materiāla lietošana ne uz lielu daudzumu atšķiras vienam no otra.

1. attēls: Detaļas drukas laika diogramma)

Apskatot digrammu, ir redzams, ka laiks drukai nav saistīs ar iztērētā materiālā daudzumu, jo detaļas ar vienādu materiāla lietojumu izdrukājās dažādos laikos, piemēram, līnijas un trijstūra-sešstūra aizpildījums izmanto vienu un to pašu materiālā daudzumu, bet tomēr laiks, kurā viņās tika izdrukātas ir atšķirīgs. Līnija tika izdrukāta 91 minūtē, bet tri-sešstūris uz 4 minūtēm ātrāk. Viss ātrāk izdrukātais aizpildījuma zīmējums ir koncentriskais, kā arī, kas bija minēts iepriekš, koncentriskais aizpildījums tētā viss mazāk materiāla. Tomēr visvairāk laika vajadzēja giroīdam.

# Secinājumi

Pētījumos iegūtie dati par spēku nepieciešamo, lai detaļa sabrūk, varēja būt precīzāki, jo vietā svariem varēja izmantot dinamometru, kas būtu precīzāks. Vel varēja izvēlēties precīzākus iekaramos svarus un tos, kas mērītu vairāk par 50 kg. Tādejādi nebūs vajadzības izmatot trīšu bloku, kas uzlabos precizitāti. Kā arī būtu labāk, ja svari varētu fiksēt maksimālo vērtību, jo tā varēs iegūt konkrēto lielumu uz kura sabrūk detaļa, ko nevar izdarīt paņemto vērtību no video ieraksta.

Veicot testus, radās problēmas ar vinču, kurus varētu mazināt izmantojos vinču ar virvi, nevis ar metāla trosi, kas nav viegli lokama. Pa virsu tam trose iedarbojās kā atspere, kur izstiepa, kas iejaucās mērījumu rezultātos.

# Atsauces

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | bigrep, «The Definitive Guide To 3D Printing: The Past, Present, And Future,» 2023. |
| [2] | 3D PRINTING.COM, "What is 3D Printing?". |
| [3] | 3D Printing Industry, «The Free Beginner’s Guide». |
| [4] | T. Drew, «History of 3D printing: It's older than you think,» 2021. |
| [5] | UltiMaker, «The complete history of 3D printing». |
| [6] | J. K. Mons, «8 important ways how 3D Printing impacts sport,» 2020. |
| [7] | . A. K. France, Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers, Maker Media, Inc, 2014. |
| [8] | 3-D PRINTING DAILY, «3D printing and sports: advancements in equipment and performance monitoring,» 2023. |
| [9] | A. Rahal, «Survey Finds Majority Prefer Working Out in Private Rather Than the Gym,» 2023. |
| [10] | A. B. De la Riva un . J. O'Connell, «The Strongest Infill Patterns,» 2024. |
| [11] | M. Zeeshan, «Exploring the Strongest Structural Material Shapes in Building Construction,» 2024. |
| [12] | M. Zeeshan, «Engineering Elegance: The Triumph of the Triangle in Construction,» 2024. |
| [13] | bigrep, «The Power of Gyroid Infill in 3D Printing: Strength, Efficiency, Precision,» 2023. |
| [14] | A. G. Weyhaupt, «Meet the gyoid,» 2011. |

# Pielikumi

1. pielikums

Testēšanas iekārtas attēls

Attēls, kurā ir koks, mēbeles, māksla, kāpnes

Apraksts ģenerēts automātiski

Avots: autora veidots attēls testēšanas iekārtas (2024)

1. pielikums

Attēls ar 3D drukas procesu

Attēls, kurā ir metālizstrādājumi, ķēde, iekštelpu

Apraksts ģenerēts automātiski

Avots: autora veidotais attēls 3D drukas procesa (2024)