



CHALMERS



Revolutionerande Golfträningshjälpmedel

Utveckling av 3D-utskrivna Träningsplattor för Golfputtning

Examensarbete inom maskinteknik

Jacob Bachalan, Oscar Olson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se

Examensarbete 2024

Revolutionerande Golfträningshjälpmedel

Utveckling av 3D-utskrivna Träningsskivor för Golfputtning

Jacob Bachalan, Oscar Olson



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

www.chalmers.se

Revolutionerande Golfräningshjälpmedel
Utveckling av 3D-utskrivna Träningsplattor för Golfputtning

Jacob Bachalan, Oscar Olson

© JACOB BACHALAN, OSCAR OLSON, 2024.

Handledare/ kontaktperson: Andreas Grönkvist - addegronkvist@gmail.com

Examinator: Lars Nyborg - lars.nyborg@chalmers.se

Institution Examensarbete 2024
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: “En golfboll som balanserar på kanten av hålet på en golfgreen” Hämtad från
<https://clubatthehighlands.com/our-blog/7-tips-to-mowing-a-golf-course-green/>

Revolutionerande Golfträningshjälpmedel
Utveckling av 3D-utskrivna Träningsplattor för Golfputtning
JACOB BACHALAN, OSCAR OLSON
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Detta examensarbete presenterar utvecklingen av 3D-utskrivna träningsplattor för golfputtning med målet att efterlikna känslan och friktionen hos en verklig putting green. Genom experiment och tester utvärderades olika material och ytstrukturer för att nå specifika friktionsegenskaper, där TPU 95A, PETG, PLA och ABS identifierades som starka kandidater. Designexperiment genomfördes för att fastställa parametrar som säkerställer optimal friktion och stabilitet. Resultaten visar att den framtagna prototypen erbjuder en pålitlig träningsyta för golf med förbättrad realism jämfört med befintliga alternativ. Studien visar på 3D-utskriftens potential att skapa innovativa träningsverktyg för sporttillämpningar.

Nyckelord: golfträningshjälpmedel, 3D-utskrift, friktionskoefficient, stimpmeter, golfputtning, materialvetenskap, sportteknologi, träningsplatta, golfutrustning, hållbarhet.

Revolutionary Golf Training Aid
Development of 3D-Printed Training Plates for Golf Putting
JACOB BACHALAN, OSCAR OLSON
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

This thesis project introduces the development of 3D-printed training plates for golf putting, aiming to mimic the feel and friction of a real putting green. Through experimental evaluations, various materials and surface configurations were tested to achieve targeted friction characteristics, with TPU 95A, PETG, PLA and ABS emerging as a prominent candidate. Controlled design experiments were conducted to determine parameters ensuring optimal friction and stability. The results reveal that the developed prototype provides a reliable training surface with enhanced realism over existing options. This study underscores the potential of 3D printing in creating innovative training aids for sports applications.

Keywords: golf training aids, 3D printing, coefficient of friction, stimpmeter, golf putting, materials science, sports technology, training plate, golf equipment, sustainability.

Förord

Detta examensarbete har varit en spännande och lärorik resa för oss båda. Vi vill tacka vår handledare Andreas Grönkvist för hans ovärderliga vägledning och stöd genom hela processen. Ett särskilt tack riktas även till Lars Nyborg för hans värdefulla insikter och feedback under examineringen av vårt arbete. Vi vill också tacka Chalmers Tekniska Högskola för de resurser och möjligheter som har gjort denna forskning möjlig. Vi är dessutom mycket tacksamma för stödet från företaget TAGAB, som har bidragit till vårt arbete och gjort det möjligt att ta del av branschkunskap och praktiska insikter.

Slutligen vill vi ge ett stort tack till Johnny Hammesjö Olausson för hans hjälp och vägledning inom 3D-printing, vilket har varit en avgörande del av vårt arbete.

Jacob Bachalan, Oscar Olson, Göteborg, Oktober 2024

Definitioner

Nedan följer en lista av definitioner för termer inom golf som har förekommit under denna studie, listad via alfabetisk ordning:

Golfgreen: “Det klippta området på en golfbana där hålet är placerat, särskilt anpassat för putting.”

Putting: “Att rulla bollen mot hålet på greenen med hjälp av en putter (Golfklubba).”

Stimpmeter: “Ett verktyg för att mäta greenens hastighet genom att bedöma hur långt en boll rullar på golfgreen.”

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Nuvarande Teknik och Material	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställningen	3
2. Metod	4
2.1 Arbetsgång	4
2.2 Design av experiment	4
2.3 Datainsamlingsmetoder	4
2.4 Friktionskoefficient	4
2.5 Materialval	5
2.6 Jämförelse	5
3. Funktion och Design	6
3.1 Definition av funktioner	6
3.2 Upprättande av kravprofil	6
4. Resultat	7
4.1 Friktionskoefficient	7
4.2 Grovsållning av material	9
4.2.1 Material för 3D-utskrift	10
4.2.2 Granta Edupack	12
4.3 Ytbehandlingar och anpassningar	17
4.4 Val av bearbetningsmetod	17
4.4.1 3D utskrift metoder	17
4.4.2 Den valda bearbetningsmetoden	19
4.4.3 Val av material, ytbehandlingar och anpassningar	20
4.5 Prototypframställning	20
4.6 Prototyper	23
4.6.1 Prototyp med PLA	23
4.6.1.1 Prototyp 1	23
4.6.1.2 Prototyp 2	23
4.6.2 Prototyp med TPU 95A	25
4.6.2.1 Prototyp 1	25
4.6.2.2 Prototyp 2	25
4.6.2.3 Prototyp 3	25
4.7 Resultat av prototyper	27
5. Slutsats och frågeställningar	30
5.1 Frågeställning	30
5.2 Slutsats	31
6. Diskussion	32
6.1 Granta Edupack	32
6.2 Polylactic Acid (PLA)	32
6.3 TPU95A	33
6.4 Resultatet	34

6.5 Osäkerheter	34
6.6 Utmaningar	35
6.7 Kvalitet och vidareutveckling	36
6.8 Förväntade konsekvenser	36
Referenser	38
A Material efter första filtrering	40
B Material efter andra filtrering	45
C Bilagor	50

1. Inledning

Det finns ett uttryck i golfen, "Drive for show and put for dough" som sätter puttningen i centrum av spelet. Det kan vara imponerande att se någon slå långa drives nerför fairway, men förmågan att putta effektivt är oftast det som avgör vem som vinner tävlingen och påverkar slutresultatet mest. Statistik visar att 40% av alla slag som PGA Tour-proffsen tar under en runda är puttar. En analys av PGA Tour data visar att proffsen kan sänka upp till 95% av sina puttar från en meter, vilket tydligt belyser hur viktig puttningen är för att få bra poäng [1].

Befintliga träningshjälpmedel brister när det kommer till att realistiskt återskapa friktion och känsla som motsvarar en riktig putting green. Denna skillnad kan minska träningens effektivitet, då överföringen från träning till tävlingssituation påverkas negativt.

Detta examensarbete syftar till att utveckla 3D-utskrivna träningsplattor som efterliknar en putting greens egenskaper. Genom en serie experiment och tester undersöks olika material och ytstrukturer för att hitta de kombinationer som bäst simulerar en putting green. Projektet innefattar designexperiment där specifika parametrar för friktion, stabilitet och hållbarhet utvärderas, vilket kan ge en robust grund för träningsplattans utformning.

1.1 Bakgrund

I strävan efter att förbättra golfträningshjälpmedel fokuserar forskningen på att utveckla specialiserade plattor med en unik kombination av egenskaper. Det huvudsakliga målet är att designa plattor som uppvisar en mycket specifik friktionsprofil samtidigt som de bibehåller exceptionell stabilitet och lågt vridmoment?, liknande egenskaperna hos formplast eller hårdplast. Projektet har initierats för att övervinna de begränsningar som finns i nuvarande tillverkningsmetoder och för att integrera avancerad 3D-utskriftsteknik i utvecklingen av träningshjälpmedel för golf. Genom att fokusera på plattans design och funktionalitet syftar forskningen till att skapa en produkt som förbättrar golfträningens effektivitet och användarupplevelse.

1.1.1 Nuvarande Teknik och Material

För närvarande är den marknadsledande putthjälpmedlet Pelz Tutor, en platta av hård plast. Även om denna platta erbjuder god stabilitet och hållbarhet, finns det betydande brister som påverkar dess effektivitet. Pelz Tutor-plattan saknar den rätta känslan av gräs, vilket innebär att friktionen inte korrekt återger förhållandena på en riktig golfgreen. Detta kan leda till att användaren inte får den mest realistiska träningsupplevelsen. Bristen på rätt friktionsprofil innebär att spelare inte kan utveckla en känsla som är överförbar till verkliga spelförhållanden, vilket begränsar deras potential och effektivitet under tävlingar.



Figur 1: Bild på pelz tutor

De huvudsakliga begränsningarna med nuvarande material och tekniker inkluderar att produkter som Pelz Tutor misslyckas med att tillhandahålla en friktionsprofil som realistiskt efterliknar en golfgreen. Som följd av att den släta plastytan inte kan efterlikna gräsets känsla och motstånd, får spelare en mindre effektiv träning. Samtidigt som hårdplast erbjuder stabilitet, innebär den också att andra viktiga ytegenskaper som påverkar puttningens realism offras.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att utveckla en banbrytande golfträningsplatta genom användning av 3D-utskriftsteknik. Målet är att designa plattor som uppfyller specifika krav på friktion, vilket kommer att leda till förbättrade träningsmöjligheter för golfspelare. Resultatet av projektet förväntas resultera i en produkt som kan revolutionera standarden inom golfträningshjälpmedel och potentiellt påverka andra områden inom sportteknologi.

1.3 Avgränsningar

Denna studie kommer inte att omfatta andra aspekter av golfutrustning eller träningsmetoder. Fokus ligger enbart på designprocessen av en specifik träningsplatta. Tekniker och metoder som inte är relaterade till 3D-utskrift kommer inte att beaktas. Användningen av traditionella tillverkningsmetoder skulle kräva ett stort lager och fabrik med stora maskiner, vilket gör det olämpligt och oekonomiskt för denna studie. 3D-utskriftsteknik möjliggör istället en mer flexibel, precis och skalbar tillverkningsprocess som kan anpassas efter specifika behov utan att kräva omfattande infrastruktur. Slutligen kommer inget hållbarhetstest att genomföras.

1.4 Precisering av frågeställningen

Frågeställningen kommer att preciseras genom följande frågor:

- *Vilka materialegenskaper är nödvändiga för att uppnå önskad friktionsprofil och stabilitet för golfträningsplattan?*
- *Hur kan 3D-utskriftsteknik användas för att tillverka en platta som uppfyller dessa krav?*
- *Vilka utmaningar och lösningar finns det vid övergången från traditionell plastformning till 3D-utskrift?*

Hypoteser som kommer att verifieras eller förkastas inkluderar:

- *Ett material som utvecklas för 3D-utskrift kan uppvisa lika eller bättre friktionsegenskaper jämfört med traditionell formplast.*
- *Användningen av 3D-utskriftsteknik kommer att leda till en produkt med förbättrad prestanda och anpassningsförmåga.*

2. Metod

För att genomföra denna studie kommer följande metodik att användas:

2.1 Arbetsgång

- Inledande möte med projektgruppen för att definiera mål och krav.
- Insamling av data genom litteraturstudier, datorsimulering, beräkningar och laboratorietester.
- Utveckling och testning av prototyper med olika materialkombinationer.
- Utvärdering av testresultat och justering av material och design.

2.2 Design av experiment

- Utvärdera nuvarande material genom jämförelser.
- Producera och testa prototyper med hjälp av 3D-utskriftsteknik.
- Analysera friktionsegenskaperna och andra kritiska parametrar genom experimentella metoder.

2.3 Datainsamlingsmetoder

- Kvantitativa metoder: Mätning av friktionskoefficienter, stabilitetstester och prestandautvärderingar.
- Utförande: 5 tester för varje tillämpad testenhet.

2.4 Friktionskoefficient

Information om grundläggande värden samlas in från en ansamling av studier genomförda på ämnet. Datan som sammanfattas lägger grunden till arbetet och kan inte försummas. För att kunna hitta lämpligt material för träningsplattorna är det nödvändigt att sammanställa standardvärden för friktionskoefficient mellan putting greenen och golfbollen efter det att bollen släppts från en stimpmeter. En stimpmeter är en rak v-formad aluminiumstång vilket en golfboll kan rulla på [2]. Värden på 6 fot anses som en långsam green och så högt som 12 fot anses som en snabb green [3]. Eftersom arbetet inte omfattar egna beräkningar på friktionskoefficient mellan golfboll och greener hämtas datan från en studie tillsammans med beräkningsmodeller och presenteras under avsnitt 4 Resultat. Modellen som används för beräkning av friktionskoefficient hämtas från USGA Green Speed Physics (n.d.) enligt följande analys.

Den kinetiska energin omvandlas till friktionsmotstånd i form av termisk energi under tiden bollen rullar till ett stopp, därav:

$$KE = m\bar{S}f \quad (1)$$

friktionskoefficienten ges som en funktion av värden från stimpmetern:

$$f = \frac{KE}{mS} \quad (2)$$

Där:

KE = den kinetiska energin på golfbollen

m = massan hos golfbollen (kg).

S = stimpmeter-värde i fot, (ft), där en fot är 0,3048(m)

f = friktionskoefficient mellan boll och putting green, dimensionslöst tal.

2.5 Materialval

När friktionskoefficienten för olika stimpmetervärden i fot har fastställts är det nödvändigt att införa en undersökning av lämpliga material för plattan. Detta steg utförs med programmet Granta Edupack enligt teori från Material Selection in Mechanical Design, Ashby (ref). Genom att mata in värdena för friktionskoefficienterna är det möjligt att hitta passande material baserat på **det givande kriteriet?**

Detta säkerställer att programmet genererar material som kan utnyttjas.

2.6 Jämförelse

En jämförelse mellan olika material och designalternativ görs för att utvärdera deras förmåga att uppfylla projektets kravspecifikationer. Detta inkluderar prestanda i termer av friktion, stabilitet och andra relevanta parametrar för golfträning.

Den valda metoden är utformad för att säkerställa en noggrann och tillförlitlig analys av materialets egenskaper och tillverkningsprocessens effektivitet. Genom att kombinera olika insamlings- och analysmetoder kan man säkerställa att resultaten är hållbara och tillämpliga.

3. Funktion och design

För att utveckla en effektiv golfräningsplatta genom 3D-utskrift är det viktigt att definiera och specificera de funktioner och krav som produkten måste uppfylla. Nedan följer en genomgång av dessa aspekter, inklusive en detaljerad kravprofil och en översikt över designöverväganden.

3.1 Definition av funktioner

Förbättrad träningsyta för puttning: Träningsplattorna ska erbjuda en yta som efterliknar en riktig putting green, med specifika friktionsegenskaper för olika stimpmetervärden.

Portabilitet och enkel installation: Träningsplattorna ska vara lätta att transportera och installera, vilket gör det möjligt för golfspelare att använda dem både hemma och på träningsanläggningar.

Hållbarhet och slitstyrka: Materialet som används i träningsplattorna ska vara slitstarkt och tåla upprepad användning utan att förlora sina egenskaper och även slitage från olika naturliga element.

Miljövänlighet: Användning av återvunnen plast för att minimera miljöpåverkan ska eftersträvas.

3.2 Upprättande av kravprofil

Funktion:

- **Primär:** Erbjuder en realistisk träningsyta för puttning som efterliknar olika förhållanden på en riktig putting green.
- **Sekundär:** Möjliggör transport och användning i olika miljöer samt säkerställa hållbarhet och miljövänlighet.

Krav:

- **Hållbarhet:** Materialet måste tåla upprepad användning utomhus och behålla sina egenskaper över tid.
- **Kompatibilitet:** Plattorna måste vara kompatibla med standardiserade 3D-utskriftstekniker.
- **Miljövänlighet:** Återvinningsbart material.

Mål:

- **Friktionsegenskaper:** Platta som uppfyller de specifika friktionskraven för olika stimpmetervärden.
- **Stabilitet och låg vridmoment:** Materialet måste erbjuda hög stabilitet och **låg vridmoment?** för att säkerställa konsekventa träningsförhållanden. Produktutvecklingen innebär att skapa en träningsplatta som kan tillverkas med 3D-utskriftsteknik och som erbjuder förbättrade träningsmöjligheter jämfört med traditionella plattor.

4. Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten från utvecklingen och testningen av de 3D-utskrivna träningsplattorna för golfputting. Här analyseras friktionskoefficienter för olika stimpmetervärden och urvalsprocessen för material som uppfyller specifika krav på friktion. Slutligen redovisas resultaten från prototypframställningen.

4.1 Friktionskoefficient

Friktionskoefficienterna för träningsplattorna har beräknats baserat på den kinetiska energin hos en golfboll som rullar från en stimpmeter. Genom att analysera olika stimpmetervärden har de friktionsegenskaper som krävs för att efterlikna en riktig putting green vid olika hastigheter kunnat fastställas. Tabellen och diagrammen nedan visar resultaten av dessa beräkningar och illustrerar sambandet mellan stimpmetervärden och friktionskoefficienter.

Som tidigare presenterats i avsnitt 2.4 fås friktionskoefficienten från ekvation (2) enligt nedan:

$$f = \frac{KE}{m\bar{S}} \quad (2)$$

Där:

KE = den kinetiska energin på golfbollen

m = massan hos golfbollen utrett i (kg).

\bar{S} = stimpmetervärde i fot, (ft) där en fot är 0,3048 (m)

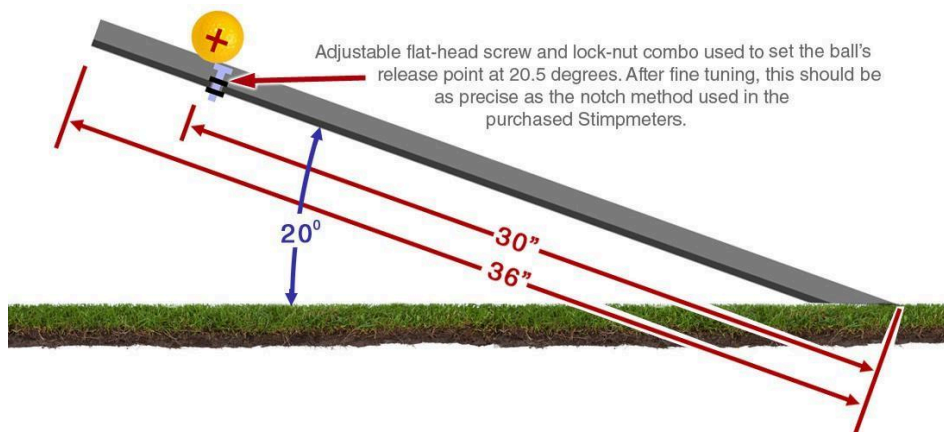
f = friktionskoefficient mellan boll och putting green, dimensionslöst tal.

Enligt reglerna måste en golfboll uppfylla specifika dimensioner, inklusive en maximal vikt på 45,93 gram (1,62oz) [4].

När det kommer till den kinetiska energin fås den genom :

$$KE = \frac{mv^2}{2} \quad (3)$$

Där v är utgångshastigheten av en golfboll från en stimpmeter, se Figur 2. Stimpmetern fungerar som en lutande ramp, med startpunkten för bollen 76 centimeter (30 tum) från den nedre änden. Rampen består av en platt metallstång som är 91 centimeter (36 tum) lång. Det centrala spåret, där golfbollen placeras, har ett V-format stopp som håller bollen på plats tills den släpps. Det viktigaste är att rampen måste ställas in på en exakt vinkel på 20,5 grader. För att sätta detta i ett matematiskt perspektiv: när bollen släpps är den 26,7 centimeter (10,5 tum) över marken, eftersom 76 centimeter multiplicerat med sinus för 20,5 grader är lika med 26,7 centimeter [5].



Figur 2: Illustration av stimpmeter.

För att bestämma den kinetiska energin upprättas energijämvt:

$$KE = PE \quad (4)$$

$$= PE = mgh = 0,04593 \cdot 9,81 \cdot 0,267 = 0,1203 \text{ J}$$

Detta ger bollen följande utgångshastighet vid mätning och ekvation (3) ger:

$$KE = \frac{mv^2}{2}$$

$$0,1203 = \frac{0,04593}{2} \cdot v^2 \quad (5)$$

där hastigheten ges av:

$$v = \sqrt{\frac{0,1203 \cdot 2}{0,04593}} = 2,29 \text{ m/s}$$

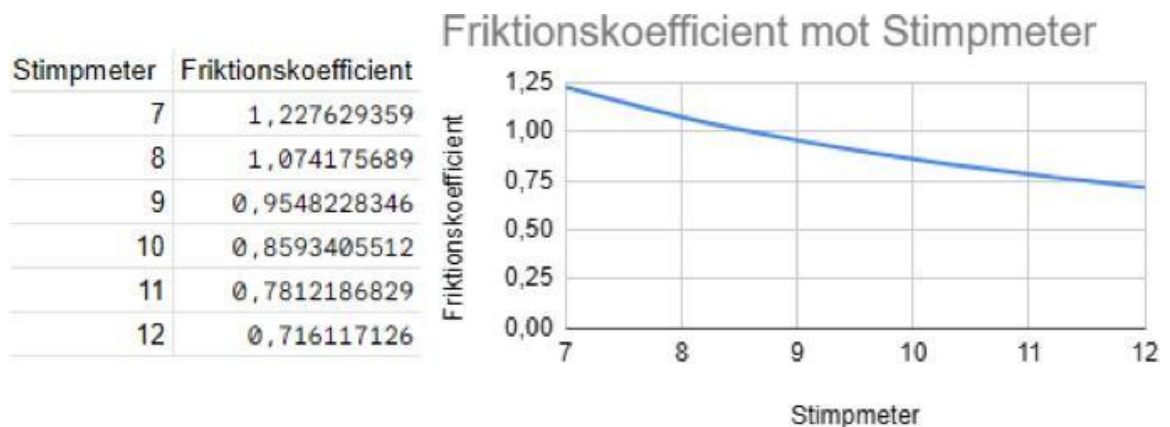
Med denna information kan följande funktion för olika friktionskoefficienter vid olika stimpmeter-värden ställas upp där x är stimpmeter i fot. Stimpmetervärdena 7-12 används, då det är vad som anses acceptabelt för en golfgreen [3]. Vid användning av ekvation (2) fås funktionen med avseende på \bar{S} :

$$f = \frac{KE}{m\bar{S}}$$

eller

$$f = \frac{0,1203 \text{ J}}{0,04593\bar{S}} = \frac{2,62}{\bar{S}} \quad (6)$$

Värdena för respektive stimpmeterberäkning sammanfattas i ett diagram under figur 3:



Figur 3: Tabell och diagram som visar sambandet mellan stimpmetervärden (x-axeln) och friktionskoefficient (y-axeln) i SI-enheter.

4.2 Grovsållning av material

Valet av material är avgörande för att uppnå önskade friktionsegenskaper och hållbarhet i träningsplattorna. För att undersöka detta har dataprogrammet Granta Edupack [7] använts för att sälla ut lämpliga material. Parallellt följer också en genomgång av de vanligaste materialen inom 3D-utskrift och deras relevanta egenskaper i relation till projektets krav. Som i varje mekaniskt system som är tillverkat utgör materialet den största faktorn till prestanda, estetik, vikt och slitagr. Designern avgör vilka av dessa parametrar som ska prioriteras och vilka som kan nedtonas utan att minska produktens värde. Exempelvis, personen som tillverkar golfträningsplattor vill att produkten ska kunna motstå olika väderslag och ultraviolett strålning, inte vara för styv med lämplig E-modul som efterliknar egenskaperna för gräs, vara lätt med lägre densitet. Dessutom är det aktuellt med fokus på mjukare material, men med hårdhet som ger känsla av en putting green, som samtidigt är hållbart och kan massproduceras med låga kostnader och minimal miljöpåverkan. Att hitta passande material är en svår process men för att underlätta detta finns det fyra grundläggande steg i materialvalsprocessen [6]:

- Sätt upp designkriterier och översätt sedan kraven till önskade materialegenskaper.
- Eliminera material som inte uppfyller designkriterier.
- Rangordna materialen utifrån hur väl de uppfyller designkriterierna.
- Verifiera resultatet genom att utföra praktiska tester som bevisar resultatet.

I källa [6] beskriver Ashby de grundläggande materialegenskaper som är lämpliga att beakta. Figur 4 visar de fyra kategorierna med enheter och underkategorier.

General	
Weight:	Density ρ , Mg/m ³
Expense:	Cost/kg C_m , \$/kg
Mechanical	
Stiffness:	Young's modulus E , GPa
Strength:	Elastic limit σ_y , MPa
Fracture strength:	Tensile strength σ_{ts} , MPa
Brittleness:	Fracture toughness K_{Ic} , MPa.m ^{1/2}
Thermal	
Expansion:	Expansion coeff. α , 1/K
Conduction:	Thermal conductivity λ , W/m.K
Electrical	
Conductor?	Insulator?

Figur 4: Ashby's Four Categories of Basic Material Properties

Materialvalsprocessen kan bli komplicerad men med hjälp av “*Ashby's Four Categories of Basic Material Properties*” kan processen begränsas till de mest grundläggande kraven på produkten i fråga.

4.2.1 Material för 3D-utskrift

I detta avsnitt beskrivs de vanligaste materialen inom 3D-utskrift, detta för att få en introduktion till material som är lämpliga för 3D-utskrift i polymera material med lämpliga tekniker.

PLA (Polylactic Acid)

PLA är ett biologiskt nedbrytbart och återvinningsbart material som är enkelt att skriva ut med. Det erbjuder en relativt låg friktion, med en dynamisk friktionskoefficient som varierar mellan 0,150 och 0,280, med ett medelvärde på 0,195. Det statiska friktiontalet ligger mellan 0,160 och 0,340, med ett medelvärde på 0,266 [8]. PLA är lämpligt för applikationer som kräver låg friktion, men materialets hållbarhet kan vara begränsad vid upprepade belastningar eller i extrema miljöer [9].

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

ABS är ett starkt och hållbart termoplastmaterial som är återvinningsbart, men inte biologiskt nedbrytbart. Det är känt för sin medelhöga friktion, vilket gör det lämpligt för applikationer som kräver stabilitet och långvarig användning, som bilkomponenter. Trots sin hållbarhet har ABS den fördelen att det kan bearbetas och formas enkelt, vilket gör det populärt för 3D-utskrift. Dess förmåga att behålla sin form under belastning gör det till ett pålitligt val för produkter som utsätts för slitage [10][11].

PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified)

PETG kombinerar hållbarhet med lätthet och är återvinningsbart. Det har god kemikalieresistens och styrka och erbjuder en medelhög friktion, vilket gör det lämpligt för träningsplattor som behöver en balans mellan hållbarhet och funktionalitet [12].

Nylon

Nylon Känt för sin hållbarhet och styrka och kan tillverkas till specifika dimensioner och är återvinningsbart. Nylon erbjuder en hög friktion och är lämpligt för träningsplattor som kräver både hög hållbarhet och hög friktion [13][14].

TPU (Thermoplastic Polyurethane)

TPU är ett mångsidigt och innovativt material som kännetecknas av sin flexibilitet och elastiska egenskaper. Med en hög friktion är TPU idealiskt för användning i applikationer där grepp och hållbarhet är avgörande, som skoinlägg, sportutrustning och industriella komponenter.

En av de mest framträdande fördelarna med TPU är dess återvinningsbarhet, vilket gör det till ett mer miljövänligt alternativ jämfört med många andra plastmaterial. Dess struktur möjliggör också att det kan motstå upprepade belastningar utan att deformeras, vilket är särskilt viktigt för produkter som utsätts för kontinuerlig rörelse eller tryck.

Materialiet är också resistent mot olika kemikalier och temperaturer, vilket ytterligare breddar dess användningsområden. Sammanfattningsvis erbjuder TPU en perfekt balans mellan hållbarhet, funktionalitet och miljömedvetenhet, vilket gör det till ett utmärkt val för många olika applikationer [15].

PP (Polypropylene)

PP är ett slitstarkt lättviktsmaterial som är återvinningsbart. Det kännetecknas av låg friktion, vilket gör det idealiskt för användning i applikationer där smidig rörelse är viktig, såsom förpackningar och mekaniska delar.

Trots sina fördelar är PP generellt mindre lämpligt för långvarig användning jämfört med nylonbaserade material. Det kan vara mindre resistent mot kemikalier och UV, vilket kan påverka dess beständighet över tid. Därför är det viktigt att överväga användningsområdet noggrant när man väljer PP [16].

Standard Resins

Används inom SLA-teknik, erbjuder hög detaljrikedom och precision men är ofta spröda. Dessa material är återvinningsbara och kan erbjuda låg till hög friktion beroende på efterbehandling, men hållbarheten kan vara begränsad.

Tough Resins

Är också en typ av SLA-material som erbjuder hög hållbarhet och motståndskraft mot upprepade belastningar. De kan tillverkas till specifika dimensioner och ge hög friktion, vilket gör dem lämpliga för träningsplattor som kräver både hållbarhet och funktionalitet.

Silikon

Är ett flexibelt material som erbjuder mycket bra friktionsegenskaper och hållbarhet. Trots detta används silikon oftare i casting-processer snarare än direkt 3D-utskrift, vilket kan göra det mindre praktiskt för detta ändamål.

Sammanfattningsvis visar analysen att TPU, PETG, PLA och ABS representerar en bredd av egenskaper som är relevanta för olika nivåer av friktion, vilket är avgörande för den studerade applikationen.

Material	Egenskaper	Användning
TPU (Thermoplastic Polyurethane)	Flexibelt och elastiskt med hög friktion.	Lämpligt för högre friktionskoefficienter.
PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-modified)	Bra balans mellan styrka och friktion.	Lämpligt för medelhög friktion.
PLA (Polylactic Acid)	Biologiskt nedbrytbart och lätt att skriva ut.	Lämpligt för lägre friktionskoefficienter.
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	Slitstarkt och tåligt.	Lämpligt för medelhög friktion.

Figur 5: Tabell över material med deras egenskaper och avsedda användningsområden (Tabell?)

4.2.2 Granta EduPack

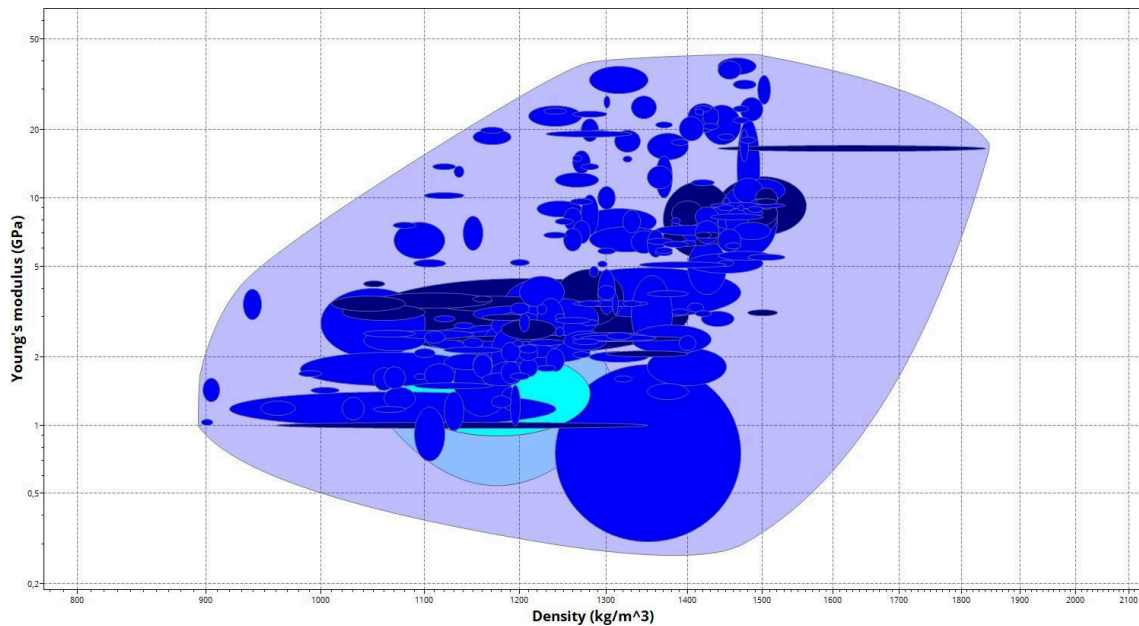
I detta avsnitt sammanfattas arbetet när det gäller materialval. Med stöd från Ashbys 'Material Selection in Mechanical Design' [6] har följande gränsvärden valts mha Granta EduPack[7]:

- Densitet (ρ): 900 - 1500 kg/m³
- Youngs modul (E): > 1 GPa
- Draghållfasthet (σ_{ts}): > 20 MPa

Dessa kriterier valdes eftersom de påverkar friktionsgenskaperna och kriterierna är valda för att efterlikna egenskaperna hos gräs (putting green).

För att exkludera material som inte är lämpliga för en solid platta användes även kriteriet Form: Bulk material. För att sortera bort material som inte är lämpade för 3D-utskrift valdes tillverkningsprocessen Additiv tillverkningssteknik.

Efter denna filtreringsprocess återstår 219 lämpliga material, se Figur 6.



Figur 6: Ashbyplot för densitet (x-axeln) och E-modul/Young's modulus (y-axeln) som medel för att se vilka material som är flexibla med låg densitet.

Utöver Ashbys kriterier har ytterligare krav specificeras i avsnitt 3, Funktion och Design. Dessa krav innefattar att materialet ska kunna motstå UV-strålning och vatten.

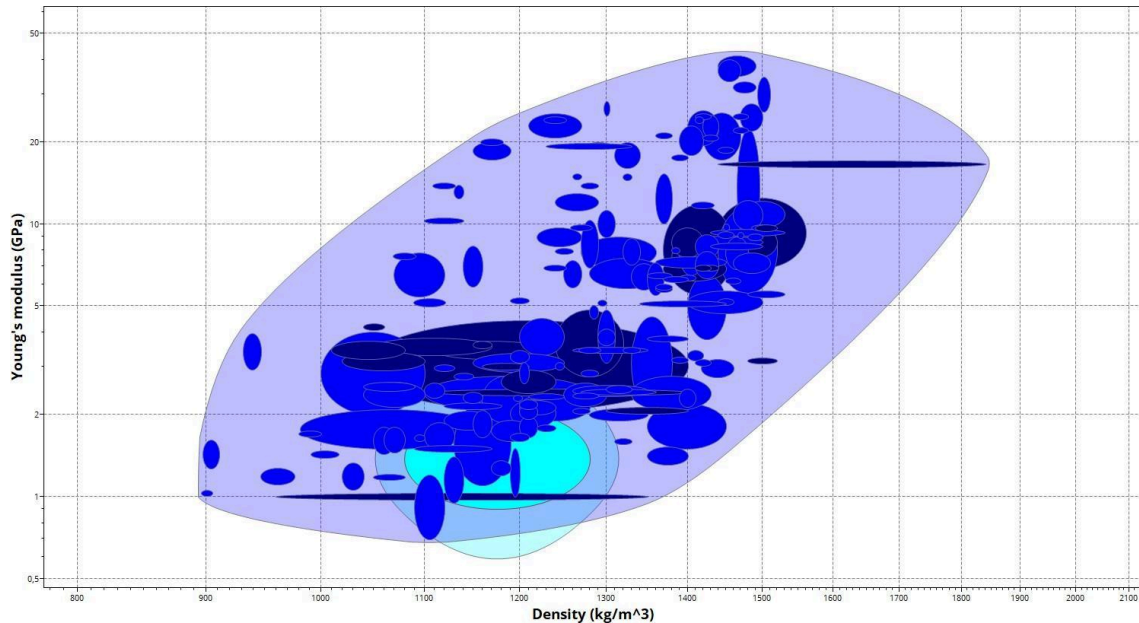
För att skydda mot UV-strålning kan kolpulver tillsättas i materialet. Kolpulver, även känt som “carbon black”, är effektivt för att absorbera UV-strålning tack vare sina starka ljusabsorberande egenskaper, särskilt inom UV-spektrumet. Genom att blanda in kolpulver i material, fungerar det som en skyddande komponent som både absorberar och sprider UV-strålar, vilket minskar mängden skadlig UV-strålning som når polymermaterialet. Enligt källa [17] visar forskning att material med tillsatt kolpulver har en betydligt högre hållbarhet vid UV-exponering jämfört med naturliga, icke-färgade material. Till exempel kan ett material med 1% kolpulver bibehålla över 90% av sin draghållfasthet även efter 30 månaders exponering, medan naturligt material faller under 50% hållfasthet på mindre än sex månader.

Användningen av kolpulver förbättrar inte bara materialets motståndskraft mot UV-strålning, utan även dess hållbarhet och livslängd. Detta gör det möjligt att använda material som annars är känsliga för UV-strålning i utomhusmiljöer, utan att de snabbt försämras eller bryts ner. Därför är kolpulver en kostnadseffektiv och enkel lösning för att öka UV-skyddet i plastmaterial som används utomhus.

Ytterligare gränsvärden som beaktats:

Vattentålighet, färsk och salt: Excellent

Efter denna filtreringsprocess återstår 151 lämpliga material som kan ses i Figur 7.



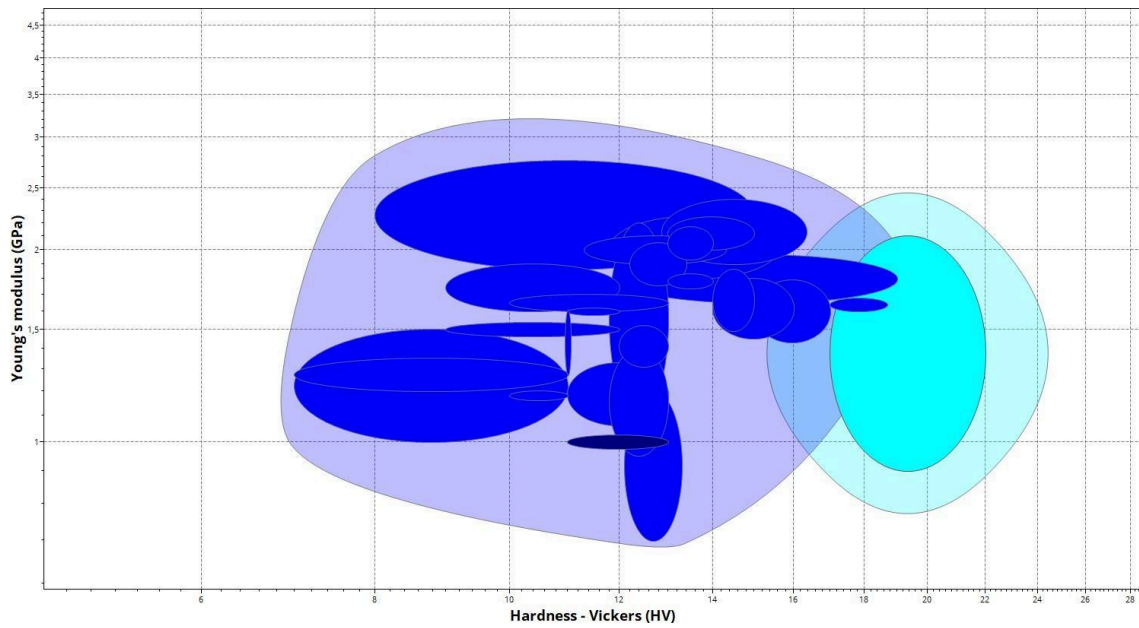
Figur 7: Ashbyplot avseende densitet (x-axeln) och E-modul/Young's modulus (y-axeln) för att se vilka material som är flexibla med låg densitet.

För att optimera materialet används elasticitetsmodulen E och hårdhet (HV, Vickershårdhet). Dessa egenskaper används då elasticitetsmodulen är ett mått på ett materials förmåga att deformeras elastiskt (dvs icke-permanent) under påkänning. Material med olika elasticitetsmoduler kommer att deformeras olika under belastning. Styvare material kan ha lägre verkliga kontaktytor under samma belastning jämfört med mer följsamma material, vilket påverkar friktionen. Graden av deformation kan påverka hur väl skillnader i en yta sammankopplar, vilket påverkar friktionen. Hårdhet är ett mått på ett materials motståndskraft mot deformation, särskilt permanent deformation eller repor.

Ett hårdare material är mindre benäget att deformeras under tryck, vilket kan leda till mindre deformation av kontaktytan och potentiellt lägre friktion. Mjukare material kan deformeras mer, vilket ökar den verkliga kontaktytan och därmed ökar friktionen. Hårdhetsskillnader mellan två kontaktmaterial kan också påverka hur mycket en yta tränger in i den andra, vilket påverkar den totala friktionen. För att finna det material med högre friktion används därmed ytterligare gränsvärden enligt följande:

- Youngs modul (E): $< 2 \text{ GPa}$
- Hårdhet vickers: $10HV < HV < 30HV$

Efter denna filtreringsprocess återstår 28 lämpliga material som kan ses i Figur 8:



Figur 8: Plot avseende hårdhet Vickers (HV), (x-axeln) och E-modul/Young's modulus (y-axeln).

De återstående materialen kan grupperas in i 19 grupper då de bara säljs i en variant och inte i alla typer av varianter, se Figur 9 och Figur 10.

ABS (flame retarded, molding and extrusion)
ABS+PBT (unfilled)
ASA+PVC (unfilled)
CAB (12-18% plasticizer)
CAB (4-11% plasticizer)
CAP (13-18% plasticizer)
CAP (7-12% plasticizer)
CN (plasticized)
EC (molding compound)
Epoxy resin (flexibilized)
Hard rubber (Ebonite)
PA1010 (molding and extrusion)
PA11 (rigid)
PA410 (molding and extrusion)
PA610 (unfilled)
PA612 (10% PTFE, lubricated)
PA612 (molding)
PA66/6 (flame retarded)
PA66/6 (impact modified)
PA66/6 (molding)
PC+PBT (general purpose)
PC+PBT (impact modified)

PC+PBT (impact modified, flame retarded)
PC+PET (impact modified)
PCTA (unfilled)
PCTG (unfilled)
PP (homopolymer, flame retarded HB)
PTT (impact modified)

Figur 9: Tabell med återstående 28 material i sina 19 materialgrupper.

Name	Young's modulus (GPa)
ABS (flame retarded, molding an...	1,86 - 2,76
PC+PBT (general purpose)	1,9 - 2,4
PC+PBT (impact modified)	1,8 - 2,26
PC+PET (impact modified)	2 - 2,25
PA66/6 (flame retarded)	1,1 - 2,2
ASA+PVC (unfilled)	1,93 - 2,17
PC+PBT (impact modified, flame...	1,9 - 2,1
Hard rubber (Ebonite)	0,9 - 2,1
ABS+PBT (unfilled)	1,76 - 2,05
PCTA (unfilled)	1,65 - 1,96
CAP (7-12% plasticizer)	1,6 - 1,9
PA612 (10% PTFE, lubricated)	1,49 - 1,86
PCTG (unfilled)	1,74 - 1,83
PA610 (unfilled)	1,45 - 1,8
PA612 (molding)	1,43 - 1,79
CAB (4-11% plasticizer)	1,6 - 1,7
PA410 (molding and extrusion)	1,6 - 1,68
PTT (impact modified)	1,58 - 1,62
PP (homopolymer, flame retard...	1,27 - 1,6
EC (molding compound)	1,46 - 1,54
CN (plasticized)	1,31 - 1,52
CAP (13-18% plasticizer)	1 - 1,5
PA66/6 (molding)	0,95 - 1,4
CAB (12-18% plasticizer)	1,2 - 1,35
PA11 (rigid)	1,06 - 1,33
PA1010 (molding and extrusion)	1,16 - 1,2
PA66/6 (impact modified)	0,7 - 1,2
Epoxy resin (flexibilized)	0,976 - 1,03

Figur 10: Tabell med återstående 28 material rangordnat från högsta till lägsta E-modul (Young's modulus).

4.3 Ytbehandlingar och anpassningar

För att exakt uppnå de specifika friktionskoefficienterna kan det vara nödvändigt med ytbearbetning. Detta kan inkludera flera olika metoder för att justera ytan och därigenom friktionen. En vanlig metod är slipning och polering, där ytstrukturen justeras för att påverka friktionen. En annan teknik är att applicera friktionsmodifierande beläggningar, vilket kan öka eller minska friktionen beroende på beläggningens egenskaper. Det är också möjligt att använda filament som har tillsatta friktionsmodifierande ämnen för att påverka friktionsegenskaperna för produkten direkt under utskriftsprocessen. Vidare kan man ändra topografin på ytan för att påverka friktionen.

Det finns olika metoder för att ändra topografin, både under och efter utskrift. Genom att justera lagerhöjden kan man skapa en yta som är antingen jämnare med lägre friktion eller grövre med högre friktion [18][19]. Att använda mönstrade ytor, såsom diagonala- eller hexagonmönster, kan också påverka friktionen genom att skapa specifika texturer.

Efterbehandling är en annan viktig aspekt. Slipning och polering med olika kornstorlekar på slipmediet kan resultera i en slätare yta som minskar friktionen. Blästring, oavsett om det är sand- eller glasblästring, kan ge en mer strukturerad yta som kan öka friktionen. Kemisk borttagning, såsom acetonångbehandling av ABS, kan användas för att jämna ut ytan och uppnå en mycket slät finish.

Beläggningar och behandlingar erbjuder ytterligare möjligheter att påverka friktionen. Genom att applicera friktionsmodifierande beläggningar kan man ändra friktionsegenskaperna. Lackering är en annan metod där man målar eller lackar ytan med material som ändrar friktionsegenskaperna. Genom att använda rätt kombination av dessa tekniker kan man noggrant justera friktionsegenskaperna för att möta specifika krav och tillämpningar [20].

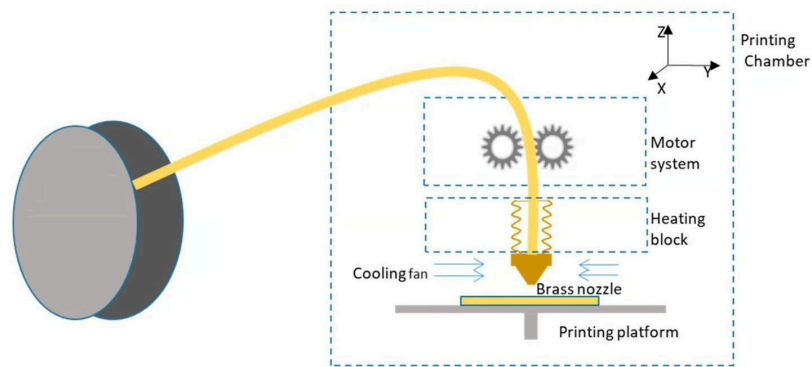
4.4 Val av bearbetningsmetod

I detta avsnitt beskrivs valet av bearbetningsmetod för utvecklingen av träningsplattan. Valet grundas på en jämförelse av olika 3D-utskriftstekniker och deras lämplighet för projektets specifika krav. De främsta teknikerna granskas, inklusive deras för- och nackdelar, samt skälen till varför den utvalda metoden ansågs mest lämplig för detta projekt.

4.4.1 3D utskrift metoder

FDM (Fused Deposition Modeling)

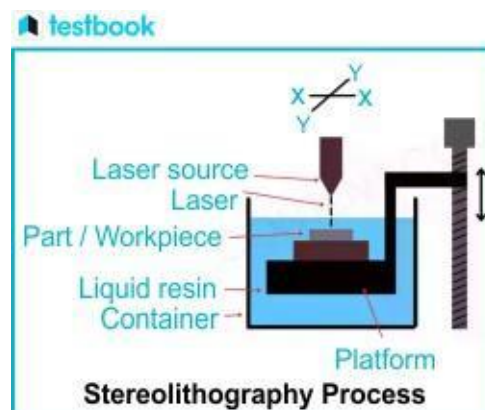
FDM-teknologin fungerar genom att ett plastfilament extruderas genom ett uppvärmt munstycke. Munstycket rör sig i x-, y- och z-axlarna och bygger upp objektet lager för lager. Processen börjar med att plastfilament, vanligtvis PLA, ABS eller TPU, matas in i en uppvärmd extruder där det smälts. Det smälta plastmaterialet pressas därefter ut genom ett munstycke som rör sig både horisontellt och vertikalt. Materialet deponeras på en byggplatta och stelnar omedelbart, lager för lager, tills objektet är färdigt. FDM används främst för att skapa prototyper, verktyg och småskaliga produktionsdelar [21].



Figur 11: Visualisering av FDM-processen

SLA (Stereolithography)

SLA-teknologin använder UV för att härda flytande fotopolymerharts lager för lager, vilket möjliggör skapandet av objekt med hög precision. Processen inleds med att en behållare fylls med flytande fotopolymerharts. En UV-källa ritar sedan upp formen av det aktuella lagret på ytan av hartset, vilket får det att stelna. Byggplattformen sänks därefter stegvis ned i hartset efter varje lager, så att ett nytt lager av flytande harts kan härdas ovanpå det föregående. Denna process upprepas lager för lager tills hela objektet är färdigt. SLA används ofta för att skapa högprecisionsdelar, smycken, dentalmodeller och detaljerade prototyper [22].

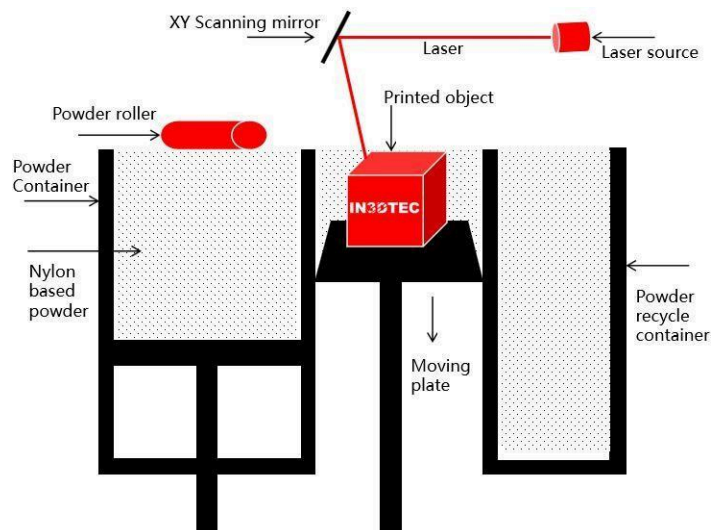


Figur 12: Visualisering av SLA-processen.

SLS (Selective Laser Sintering)

SLS-teknologin använder en laser för att smälta ihop små partiklar av pulvermaterial, vanligtvis nylon eller andra plastpulver, lager för lager för att bygga upp ett fast objekt. Processen börjar med att ett tunt lager av pulvermaterial sprids ut över byggplattformen. En laser ritar sedan upp formen av det aktuella lagret på ytan av pulvret och smälter ihop partiklarna där de träffas. Ett nytt lager av pulver sprids över det föregående, och processen upprepas. När utskriften är klar avlägsnas det överskjutande pulvret och objektet tas ut. SLS används för att skapa funktionella prototyper, komplexa geometrier och produktionsdelar i små till medelstora serier [23].

Figur 14 visar en tabell där fördelar och nackdelar för dessa tre tekniker redovisas.



Figur 13: Visualisering av SLS-processen.

Typ	Fördelar	Nackdelar
FDM	Låg kostnad, lätt att använda, brett utbud av material	Låg känslighet, stegmärken, lång utskriftstid
SLA	Hög precision, slät yta, snabb utskriftstid	Hög kostnad, komplex installation, begränsat utbud av material
SLS	Hög precision, hållbara delar, snabb utskriftstid	Mycket hög kostnad, komplex installation, oförmåga att återanvända pulvermaterial

Figur 14: Tabell över de tre bearbetningsmetoderna och deras för- och nackdelar

4.4.2 Den valda bearbetningsmetoden

FDM valdes som bearbetningsmetod för utvecklingen av träningsplattan på grund av flera avgörande fördelar som är anpassade till projektets krav och begränsningar.

För det första är tekniken kostnadseffektiv vilket är en betydande fördel för prototypframställning och småskalig produktion.

En annan viktig faktor är användarvänligheten då dessa skrivare är relativt enkla att hantera och kräver inte omfattande teknisk expertis. Vilket minimerar behovet av specialiserad arbetskraft och underhåll.

FDM erbjuder också ett stort sortiment av filamentmaterial. Denna flexibilitet i materialval gör det möjligt att välja specifika material som uppfyller kraven på träningsplattans friktion, stabilitet och hållbarhet. Genom att välja rätt material kan man skapa en träningsplatta som bättre simulerar känslan av en riktig golfgreen, vilket är avgörande för effektiv puttning.

Slutligen erbjuder FDM tekniken en hög grad av flexibilitet. Eftersom FDM tillåter snabba justeringar och iterationer av designen utan behov av att ändra i stor skala i tillverkningsprocessen, kan man snabbt utveckla och förbättra prototyperna. Detta eliminerar behovet av omfattande lager, fabriksutrustning och stora maskiner, vilket reducerar kostnader och komplexitet.

Sammanfattningsvis valdes därmed FDM som bearbetningsmetod på grund av dess kostnadseffektivitet, användarvänlighet, materialflexibilitet och skalbarhet, vilket gör det möjligt att utveckla en träningsplatta som uppfyller de höga kraven på realism och prestanda utan att kräva stora investeringar i infrastruktur.

4.4.3 Val av material, ytbehandlingar och anpassningar

Materialgenerering via Granta Edupack påvisade följande slutsatser när det gäller materialval och stimpmetervärden.

Material för låga stimpmetervärden:

TPU med Grov textur: För att skapa hög friktion kan TPU användas med ett lagerhøgt mönster, vilket kan ge en friktionskoefficient runt 1,1 till 1,2. TPU 95A, det mjukaste och mest flexibla alternativet, är särskilt effektivt för detta ändamål då dess flexibilitet möjliggör en grov ytstruktur. Detta är viktigt i applikationer där höga friktionsnivåer behövs för låga stimpmetervärden.

Material för medelhöga stimpmetervärden:

PETG med Måttlig textur: PETG kan skrivas ut med ett måttligt strukturerat mönster för att uppnå en friktionskoefficient mellan 0,86 och 0,95, vilket ger en balanserad friktion som passar tillämpningar där varken hög eller låg friktion är avgörande.

Material för höga stimpmeter-värden:

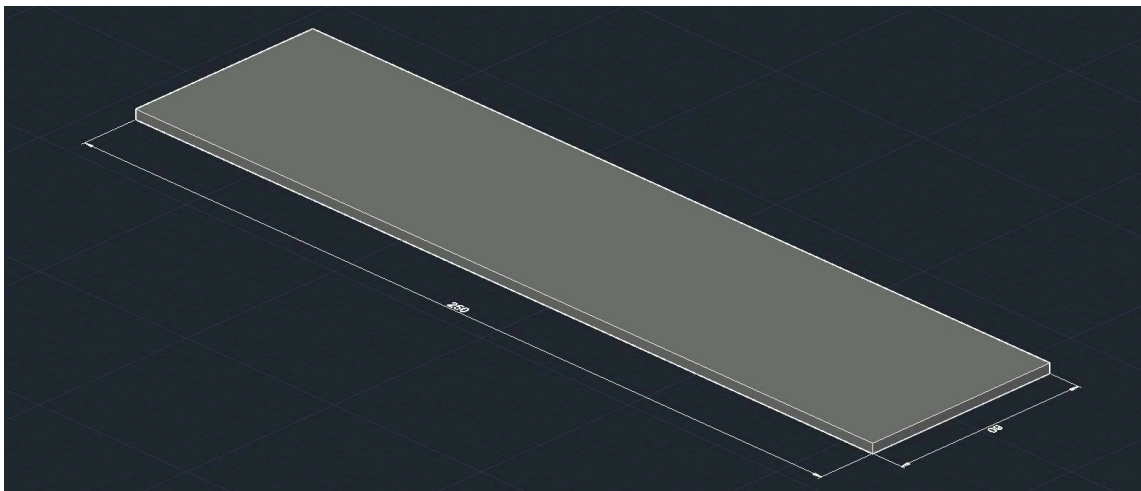
PLA med Slät yta: För att minimera friktionen kan PLA skrivas ut med låg lagerhöjd och sedan poleras eller behandlas kemiskt för att uppnå en friktionskoefficient på cirka 0,72 till 0,78. Denna behandling skapar en slät yta som är idealisk för applikationer där låg friktion och högre stimpmetervärden krävs.

4.5 Prototypframställning

Inledning av det sista steget av de fyra grundläggande stegen i materialvalsprocessen har innefattat:

- Sätta upp designkriterier och översätta kraven till önskade materialegenskaper.
- Eliminera material som inte uppfyller designkriterierna.
- Rangordna materialen utifrån hur väl de uppfyller designkriterierna.
- **Verifiera resultatet genom att utföra praktiska tester som bevisar resultatet.**

Prototyperna har tagits fram i form av serier med 60 mm breda plattor med en tjocklek på 2,75 mm. Varje platta har varit 250 mm lång då det är printerns maximala storlek.



Figur 15: Modell av prototyp i AutoCAD 25

Beräkning av friktionskoefficient kan genomföras efter fysiskt test. För att genomföra detta korrekt måste testet verklighetsanpassas. Därför tillverkades en stimpmeter, som kan ses i Figur 16. Syftet med stimpmetern är att säkerhetsställa att golfbollen alltid har samma potentiella energin och därmed samma kinetiska energi när den kommer till testmaterialet, vilket minskar den mänskliga faktorn på resultaten och kan säkerställa att golfbollen alltid innehar samma initiala hastighet.



Figur 16: En stimpmeter tillverkad av författarna, modell designad av användaren pozzituwp på hemsidan "Thingiverse"

För att spara både material och tid beslutades det att minska stimpmeterens dimensioner så att bollen rullar en kortare sträcka än normalt. Den modifierade stimpmetern har en höjd på endast 55 mm och genererar en kinetisk energi på 0,024 J då bollen lämnar stimpmetern, se Figur 16. Med hjälp av ekvation (2) kan stimpmetermättet S ges enligt följande:

$$\bar{S} = \frac{KE}{m \cdot f}$$

Där:

KE = den kinetiska energin på golfbollen, i detta fall 0,024J

m = massan hos golfbollen utrett i (kg).

\bar{S} = stimpmetervärde i fot, (ft) då en fot är 0,3048(m)

f = friktionskoefficient mellan boll och putting green, dimensionslös. Sammanställdes för respektive stimpmeter i avsnitt 4.1.

De nya värdena sammanfattas i ett diagram och kan ses i Figur 17:

Stimpmeter	Friktionskoefficient	m
7	1,227629359	0,4256449942
8	1,074175689	0,4864514219
9	0,9548228346	0,5472578497
10	0,8593405512	0,6080642774
11	0,7812186829	0,6688707052
12	0,716117126	0,7296771329

Figur 17: Tabell över hur långt en golfboll rullar med den modifierade stimpmetern.

Foot	Meter
7	2,1336
8	2,4384
9	2,7432
10	3,048
11	3,3528
12	3,675

Figur 18: Tabell för hur långt foot är i meter.

För att säkerställa hur långt bollen hade rullat med den ordinarie stimpmetern i ett verkligt fall med resultat från den lilla modifierade stimpmetern (Figur 16), kan kvoten mellan dessa sammanställas genom:

$$\text{Multiplier} = \frac{\text{Meter}}{m}$$

Meter används från tabell i Figur 17 och m används med värden från Figur 18. Kvoten ges som Multiplier med värdet: 5,012627963.

Beräkning för hur långt bollen hade rullat i ett verkligt fall med resultat från lilla modifierande stimpmeter ges då av:

$$\bar{S} = 3,2808 \cdot \text{Multiplier} \cdot x \quad (7)$$

Där:

x = rullat avstånd testad med lilla stimpmeter i (meter)

3, 2808 är enhetsomvandling (ft) till (m)

Denna metod används som en buffert för att säkerställa plattans prestanda i ett verkligt fall.

4.6 Prototyper

Detta avsnitt fokuserar på prestandan hos de olika prototyperna, där varje prototyp identifierats med ett nummer samt materialet som används; Exempelvis Prototyp 1 (PLA) och Prototyp 1 (PETG).

Skillnaden mellan prototyperna är enbart materialen, om inte annat anges, som Prototyp 2 (PLA) med en annan design än Prototyp 1 men är tillverkad i samma material, i detta fall PLA. Nedan följer en kronologisk redovisning av de resultat som har producerats.

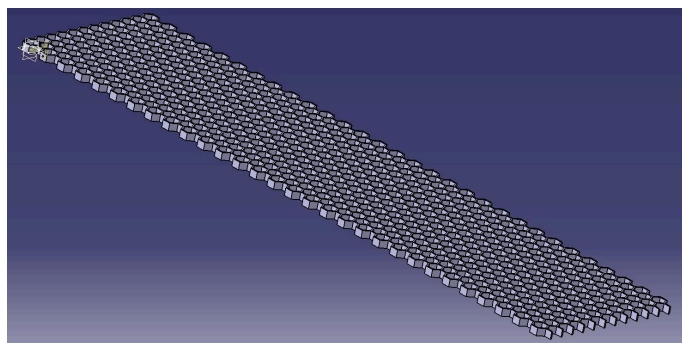
4.6.1 Prototyper med PLA

Här presenteras resultaten av de olika prototyperna som tillverkats i materialet PLA. Varje prototyp har genomgått omfattande tester och utvärderingar för att noggrant bedöma deras prestanda och egenskaper.

4.6.1.1 Prototyp 1

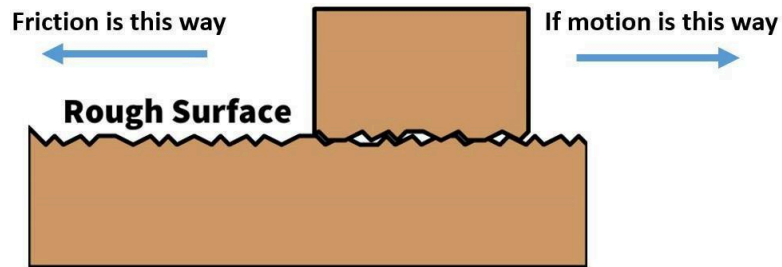
Plattorna som först tillverkades enligt prototyp 1 ser ut enligt beskrivningen från 4.5 prototypframställning. Denna prototyp ger ett oönskat resultat, golfbollen som släpps från stimpmetern rullar längre än 12 fot vilket exkluderar prototyp 1 för godkännande och den elimineras för vidare användning. För att gå vidare utvecklades prototyp 2, en vidareutveckling från prototyp 1 där ytan innehar en annan karaktär.

4.6.1.2 Prototyp 2



Figur 19: Modell av prototyp 2 i Catia V5

Prototyp 2 är en alltså en vidareutveckling av Prototyp 1 och baseras på dessa resultat. Prototyp 2 (kan ses i figur 19) har en yta med hexagonala former. Anledningen till denna design är hypotesen som kort beskrivs enligt följande: Bollen kommer i praktiken producera ett kortare avstånd enligt avsnitt 4.3 och figur 20.



Figur 20: Friktion demonstrerad av stickmanphysics [25]

Resultatet är fortfarande inte önskvärt, då golfbollen som släpps från stimpmetern rullar längre än 12 fot, vilket leder till att prototyp 2 inte godkänns och tas bort från vidare användning. För att komma vidare används ett nytt material med högre friktionskoefficient.

4.6.2 Prototyp med TPU 95A

Här presenteras resultaten av de olika prototyperna som tillverkats i materialet TPU. Varje prototyp har genomgått omfattande tester och utvärderingar för att noggrant bedöma deras prestanda och egenskaper.

4.6.2.1 Prototyp 1

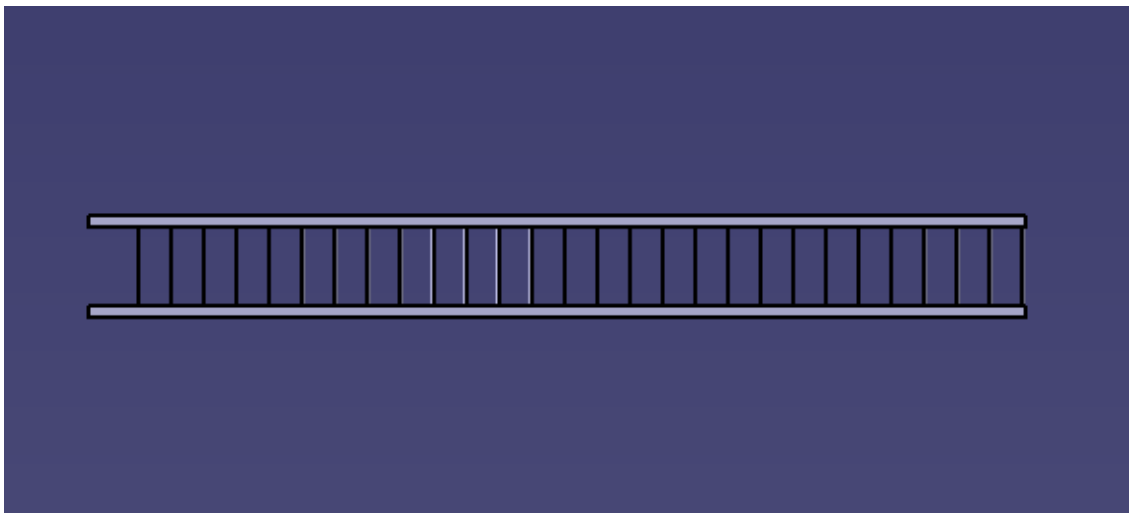
De plattor som tillverkas enligt prototyp 1 ger ett önskat resultat, då golfbollen som släpps från stimpmetern rullar längre än 12 fot. Detta innebär att prototyp 1 inte kan godkännas och därför utesluts från fortsatt användning. Som nästa steg utvecklas prototyp 2, en vidareutveckling av prototyp 1 med en yta som har en annorlunda karaktär.

4.6.2.2 Prototyp 2

Prototyp 2, som bygger på samma principer som beskrivits i avsnitt 4.6.1.2 och har en yta med hexagonala former (se figur 19). Golfbollen rullade fortfarande längre än 12 fot, vilket innebär att även denna prototyp inte godkändes och togs ur bruk. Som ett steg framåt utvecklades prototyp 3, där ytan har en förändrad karaktär i jämförelse med prototyp 2.

4.6.2.3 Prototyp 3

Ytan på denna prototyp är utformad för att efterlikna gräs och simulera den bromsande verkan som grässtrån ger upphov till. Detta åstadkoms genom att ställa två plattor på 0,8 mm i tjocklek, 60 mm i bredd och 225 mm i längd, se figur 22, och dra 5 mm höga staplar mellan dem, se figur 21. Detta görs med ett 0,4 mm munstycke, som är standard på den använda printern. Den minsta möjliga printstorleken var 0,2 mm för att skapa staplarna som efterliknar grässtrån. Staplarna placerades med ett avstånd på 7 mm mellan varandra.

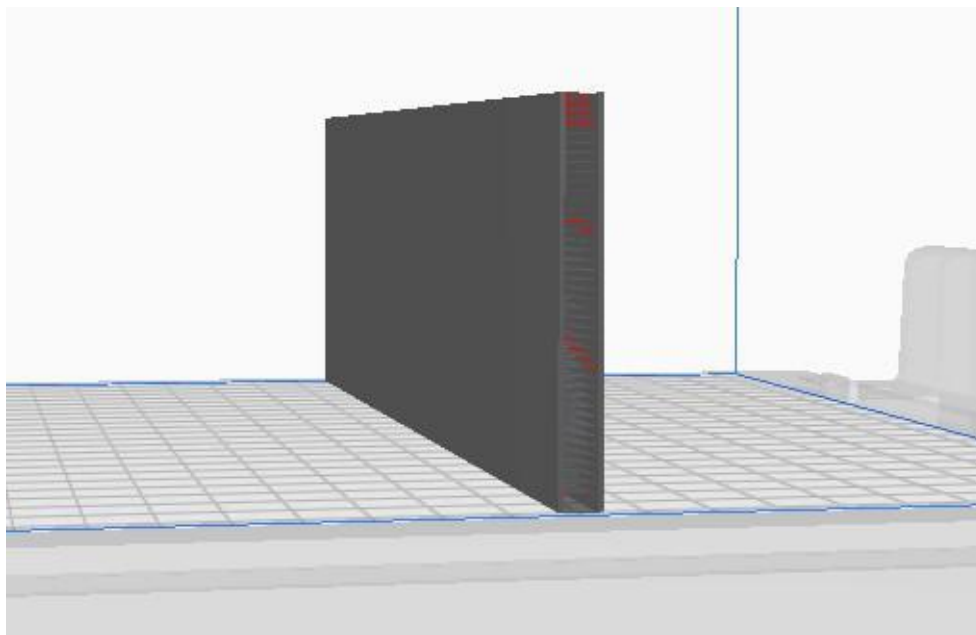


Figur 21: Bild på staplarna i Catia V5.



Figur 22: Övergripande bild på hela modellen i Catia V5.

Modellen skrivs ut i stående position enligt figur 23. Detta görs eftersom det inte är möjligt att skriva ut så små staplar vertikalt. Istället placeras varje stapel som en horisontell rad. Efter utskrift skärs den ena plattan bort för att lämna kvar en platta med den önskade gräsliknande ytan.



Figur 23: Visualisering i UltiMaker Cura hur prototypen printas (Prototyp 3).

Genom testet uppmättes längden 0,375 m vilket i ekvation (7) för omvandling ger ett stimpmetervärde på 6,16 fot, en godtycklig utgångspunkt. I nästa steg utvecklades en prototyp med längre avstånd mellan staplarna för att enligt hypotes minska kontaktytan.

För att hitta respektive stimpmetervärde utnyttjas följande parametrar.

Avstånd 10 mm mellan staplar

Bollen rullade kortare, totalt 0,325m när avståndet mellan staplarna ökade från 7 mm till 10 mm. Detta beror på att färre staplar var i kontakt med golfbollen, vilket minskade stödet från staplarna. Den ökade belastningen på varje stapel gjorde att de deformerades mer, vilket ledde till större ytkontakt och därmed högre friktion och rullmotstånd. Efter omvandling har plattan med den ändrade parametern ett stimpmetervärde på 5,3 fot, slutsatsen kan dras att ökat mellanrum minskar stimpmetervärdet.

Diameter 0,3 mm på staplarna

När diametern på staplarna ökades från 0,2 mm till 0,3 mm rullade bollen 0,415 meter. Detta beror på att de tjockare staplarna är styvare och deformerar mindre under golfbollens vikt, vilket minskar ytkontakten och därmed friktionen. Detta i sin tur gör att bollen rullar längre. Efter omvandling har plattan med den ändrade parametern ett stimpmetervärde på 6,8 fot, slutsatsen kan dras att en större diameter ökar stimpmetervärdet medan mindre diameter minskar.

Höjd 2,5 mm på staplar

När höjden på staplarna minskade från 5 mm till 2,5 mm, rullade bollen 0,59 meter. Detta beror på att de längre staplarna deformerar mindre under golfbollens vikt, vilket minskar ytkontakten och därmed friktionen. Som en följd rullar bollen längre. Efter omvandling visade plattan med den ändrade parametern ett stimpmetervärde på 9,7 fot. Slutsatsen är att kortare staplar ökar stimpmetervärdet, medan längre staplar minskar det.

Eftersom TPU har de egenskaper som skulle göra att bollen rullar kortast, uteslöts PETG från vidare testning.

4.7 Resultat av prototyper

Med en förståelse för hur de olika parametrarna påverkar rullmotståndet upprättas en tabell som visar hur långt bollen förväntas rulla för kombinationen av parametrar (se. figur 24).

Höjd [mm]	Diameter [mm]	Avstånd [mm]	Förväntad stimp [fot]
4	0,2	7	~7
4	0,3	7	~8
3	0,2	7	~9
3	0,3	7	~10
2	0,2	7	~11
2	0,3	7	~12

Figur 24: Tabell över förväntade rullmotstånd för kombination av parametrar.

För att testa teorin skrivs varje platta ut, och bollen rullas fem gånger från stimpmetern. Mätningarna samlas in och används för att beräkna medelvärdet, avvikelsen samt den tillåtna avvikelsen.

Avvikelse på ± 0.5 fot för den förväntade stimpmetervärdet anses godtagbart, t ex *Stimp 7* mellan 6.5 – 7.5 fot anses godtagbart.

Nedan följer mätningar för respektive förväntad stimp.

Förväntad *stimp 7*

Mätning [nr]	Uppmätt [m]
1	0,44
2	0,435
3	0,43
4	0,44
5	0,437
Genomsnitt [fot]	
7,19	
Avvikelse [%]	
2,7	
Tillåten avvikelse [%]	
7,1	

Figur 25: Tabell för mätningar och resultat för förväntat stimpmetervärde 7.

Förväntad *stimp 9*

Mätning [nr]	Uppmätt [m]
1	0,57
2	0,565
3	0,55
4	0,565
5	0,545
Genomsnitt [fot]	
9,19	
Avvikelse [%]	
2,1	
Tillåten avvikelse [%]	
5,4	

Figur 26: Tabell för mätningar och resultat för förväntad stimpmetervärde 9.

Förväntad stimp 10

Mätning [nr]	Uppmätt [m]
1	0,595
2	0,585
3	0,565
4	0,59
5	0,60
Genomsnitt [fot]	
9,65	
Avvikelse [%]	
3,5	
Tillåten avvikelse [%]	
5,1	

Figur 27: Tabell för mätningar och resultat för förväntad stimpmetervärde 10.

Höjd [mm]	Diameter [mm]	Avstånd [mm]	Förväntad stimp [fot]	Genomsnitt uppmätt stimp [fot]	Avvikelse %
4	0,2	7	7	7,19	2,7
4	0,3	7	8	N/A*	N/A
3	0,2	7	9	9,19	2,1
3	0,3	7	10	9,65	3,5
2	0,2	7	11	N/A*	N/A
2	0,3	7	12	N/A*	N/A

Figur 28: Tabell över förväntade och uppmätta rullmotstånd för kombinationen av parametrar.

*Plattor utan uppmätt stimpmetervärde beskrivs under avsnitt **6.6 Utmaningar**.

5. Slutsats och frågeställningar

Detta avsnitt presenterar de övergripande slutsatserna från den genomförda forskningen tillsammans med svaren på de ställda frågeställningarna och de utvärderade hypoteserna som diskuterats i avsnitt 1.4.

5.1 Frågeställning

- *Vilka materialegenskaper är nödvändiga för att uppnå önskad friktionsprofil och stabilitet för golfträningsplattan?*

Elasticiteten hos materialet TPU95A spelar en central roll i hur staplarna på plattan beter sig under belastning. TPU95A har en hög elasticitet, med en E-modul på mellan 26 och 33 MPa, vilket innebär att staplarna kan deformeras vid tryck eller slag utan att bli permanent formförändrade. Detta gör materialet idealiskt för att skapa en yta som ger efter vid påverkan men snabbt återgår till sin ursprungliga form, vilket förbättrar både stabiliteten och hållbarheten.

- *Hur kan 3D-utskriftsteknik användas för att tillverka en platta som uppfyller dessa krav?*

3D-utskrift erbjuder överlägsen precision och hög kvalitet på detaljerna, vilket är särskilt viktigt för komponenter som exempelvis staplar. Med denna teknik kan varje detalj, oavsett hur liten eller komplex, skapas med stor noggrannhet, vilket resulterar i jämna ytor och exakta mått. Vilket säkerställer både estetisk och funktionell kvalitet, något som är svårt att uppnå med traditionella tillverkningsmetoder som plastformning.

- *Vilka utmaningar och lösningar finns det vid övergången från traditionell plastformning till 3D-utskrift?*

Oavsett hur många produkter som skrivs ut samtidigt måste en 3D-printer genomföra sina rörelser i x-, y- och z-led tills varje produkt är färdig, vilket innebär att produktionstiden blir relativt lång. I kontrast sprutar plastformning in material i formarna på en gång, vilket gör att alla produkter blir klara på ungefär samma tid som det tar att tillverka en enda produkt. Den stora fördelen med 3D-utskrift är att den är mycket mer resurseffektiv och genererar mindre avfall jämfört med traditionell formsprutning, samt att den är enklare att använda när företaget inte behöver lagerhålla produkter.

- *Ett material som utvecklas för 3D-utskrift kan uppvisa lika eller bättre friktionsegenskaper jämfört med traditionell formplast.*

Under avsnittet 1.1.1 sammanfattas den marknadsledande produkten *Pelz Tutor*. Den är tillverkad i hårdplast och den både hållbar och stabil men saknar känslan av en äkta golfgreen. Detta är det primära problemet med traditionell formplast specifikt i utförandet som *Pelz Tutor* utnyttjar. För att undvika den frånvarande "golfkänslan" presenteras en ny tolkning av produkten. Det framtagna materialet leder till användning av TPU95A som presenteras under avsnittet 4.6.2 "Prototyp med TPU95A". Är plattan tillverkad som *prototyp 3* under delkapitel 4.6.2.3 och

figur 21-22 fås positiva resultat. *Prototyp 3* utnyttjar en gräsliknande yta som påvisar bättre friktionsegenskaper än *Pelz Tutor* och detta stärks via mätningar som utförts under avsnittet 4.7 "*Resultat av prototyper*". Mätningarna konstaterar att det är möjligt att utveckla en platta med ett material som utvecklas för 3D-utskrift.

- *Användningen av 3D-utskriftsteknik kommer att leda till en produkt med förbättrad prestanda och anpassningsförmåga.*

Det aktuella stadiet av prototyputvecklingen presenterar otillräckliga bevis för att konstatera att produkten innehar "förbättrad prestanda och anpassningsförmåga", men som beskrivs tidigare kan det finnas potentiella tillverkningsmetoder och tester som stärker parametrarna i fråga. För ett mer nyanserat och välutvecklat resultat som sammanfaller med hypotesen kommer potentiella tillvägagångssätt presenteras i diskussion.

Via slutsatsen sammanfattas tesen att det är möjligt att utveckla träningsplattor som "*uppfyller specifika krav på friktion*". Detta gäller till följd av att arbetet skiftade fokus mot ytegenskaper från bara materialvalet. Det visade sig vara mer fördelaktigt att fokusera på ytans egenskaper. Resultatet är flera träningsplattor som uppvisar efterfrågade friktionsegenskaper, utan att försumma den primära funktionen; materialets specifika sammansättning och egenskaper.

5.2 Slutsats

Den textur som visade sig ha störst betydelse för bollens rörelse var den som efterliknade gräs. Denna gräsliknande yta skapade en jämnhet i alla riktningar, vilket innebar att puttens resultat blev konsekvent oavsett puttriktning. Dessutom var det förhållandevis enkelt att justera parametrarna som avstånd, längd och höjd på staplarna för att uppnå önskat rullmotstånd, vilket gav en flexibel designprocess för att finjustera bollens hastighet och rullning. De slutgiltiga specifikationerna för varje stimpmetervärde kan ses i figur 28.

6. Diskussion

Under detta avsnitt presenteras diskussionen om användning av GRANTA samt prototyper i PLA och TPU95A. Diskussionen adresserar givande prototypresultat, osäkerheter, kvalitet och studiens förväntade påverkan på tillverkningen för framtida träningshjälpmedel inom golf.

6.1 Granta Edupack

Granta Edupack har varit avgörande för denna forskning, att enkelt kunna sälla och analysera olika materialval på egen hand var det första steget till en lyckad studie. I kombination med *Ashby's Four Categories of Basic Material Properties* [6] och parametrar som UV-resistens och friktionsegenskaper, kunde en systematisk urvalsprocess genomföras. Detta resulterade i en lista med 28 lämpliga alternativ för golfträningsplattor (se **figur 10**).

Som tidigare presenterades, var målet att efterlikna egenskaperna hos en putting green, det visade sig vara viktigt att välja ett material som innefattade rätt balans mellan flexibilitet och hållbarhet. Granta Edupack möjliggjorde detta och med stöd av programvaran identifierades material med godtagbar elasticitet och lägre densitet, vilket skulle visa sig ge en produkt med autentisk känsla utan att försumma kraven på prestanda.

Som tidigt presenterades var det viktigt med tillverkningsprocessen och att denna var via 3D-utskrift. Granta möjliggjorde att filtrera bort material som inte kunde tillverkas med 3D-utskrift och genererade lämpliga material, vilket sparade på resurser och utvecklingstiden. Genom tillämpandet av de filtreringssteg som beskrivs under materialvalsprocessen blev materialen ABS, PETG, PLA och TPU särskilt framstående. Materialen visade sig vara lämpliga för studiens ändamål, anledningen till urvalet av material var följande faktorer:

- Tillgänglighet, materialen var tillgängliga för direkt tillverkning.
- Begränsningar, det hade tagit betydligt mycket längre tid att utveckla egna material från grunden och deras sammansättning.

Slutligen valdes materialen på grund av paralleller mellan de genererade materialen via Granta Edupack. Målet som tydligt betecknades under introduktionen var att hitta material som kunde tillverkas via 3D-utskrift och som faller under kraven för golfträningsplattorna. ABS, PETG, PLA och TPU presenterade materialegenskaper som bäst efterliknade egenskaperna hos de genererade materialen via Granta Edupack och detta hänvisas till i avsnitt 4.2.1. Valen stöds även via tidigare studier, som exempelvis (Sudeepan, Kumar, Barman, & Sahoo, 2014) [10], där författarna undersökte friktions- och förslitningsegenskaper hos ABS.

Att hitta rätt kombination av efterfrågade egenskaper visade sig vara en utmaning, men genom en strukturerad process kunde en teoretisk lösning hittas där Granta Edupack var den avgörande faktorn för ett effektiviserat materialvalsprocess.

6.2 Polylactic Acid (PLA)

Det blir tydligt via test att Polyactic Acid (PLA) inte är det rätta materialet för plattorna, detta material uppfyllde inte kraven för produkten och visade låga friktionsegenskaper. PLA valdes först på grund av dess låga kostnad och potentiella goda friktionsegenskaper för längre avstånd, vilket gjorde materialet ett tydligt val för tidiga prototyper. Men resultaten som presenterades från arbetet med prototyp 1 och prototyp 2 visade för låga friktionskoefficientvärden då golfbollen rullade för långt i båda fall.

Prototyp 1 kunde uteslutas eftersom den tillät bollen rulla längre än 12 fot, vilket är längre än tillåtet. Detta gav möjlighet för prototyp 2, där en hexagonal struktur på ytan utvecklades som ett medel att öka friktionen. Trots utvecklingen av prototyp 2 visade sig detta inte vara tillräckligt, bollen rullade längre än det tillåtna intervallet (7-12 fot).

Möjlig förklaring till varför PLA underpresterade ligger högst troligtvis hos friktionsegenskaperna hos materialet, vilket gör det svårt att uppnå det nödvändiga rullmotståndet som krävs för plattorna. Detta är även en underskattning av egenskaperna från materialurvalsprocessen. Det har påvisas i studier att PLA [9], att PLA trots biologisk nedbryttningsbarhet och enkelhet, saknar egenskaperna att ge låg friktionskoefficient som är lämplig för användningsområdet.

Att prototyperna påvisar icke godtagbara resultat, uppvisar vikten med att välja material med ännu högre friktionskoefficient för användningsområdet. Där kan TPU vara ett bättre alternativ.

6.3 TPU95A

Prototyperna som utvecklades med materialet TPU95A föll till en början inom kategorin för misslyckade prototyper, trots att TPU95A är ett slitstarkt material samtidigt som det är flexibelt och kan efterlikna mjukare ytor som exempelvis gräs. Resultaten för prototyp 1 och 2 påvisade liknande resultat som tidigare använda material (PLA), prototyperna uteslöts och prototyp 3 (**Figur 21, 22, 23**) utvecklades med hypotesen att den har större bromsande effekt på golfbollen.

Studien handlar om att hitta golfträningsplattor som innehåller samma egenskaper som vanligt naturgräs (*golfgreen*). Varför då inte tillverka prototyper som den här ansatsen anger? Detta var tanken bakom utvecklandet av prototyp 3 och dra nytta av materialets flexibilitet och att det är gräs som ska efterliknas. Detta innebar en platta med staplar som efterliknade grässtrån. Diameter och längd på staplarna (0.2mm respektive 5mm) fastställdes som en bas utan vetenskaplig granskning, istället fastställdes dessa utifrån "känsla". När ett test genomfördes för prototyp 3 resulterade detta i ett stimpmetervärde på 6,16 fot, ett resultat värd att använda som grund för ett empiriskt baserad strategi.

För att hitta plattor med rätt stimpmetervärde granskades därför följande parametrar; stapeldiameter, stapellängd och stapelhöjd. Frågan var vilka parameter som påverkade stimpmetervärdet störst, minst och i kombination. När påverkan av parametrarna konstaterades praktiskt utvecklades plattor för respektive stimpmetervärde, för plattorna med större stimpmetervärde var det viktigt att tillverka staplarna med lägre höjd, större diameter och 7 mm stapelmellanrum. Mellanrummet för staplarna valdes konstant. Det var inte möjligt att utföra en linjär approximation på stimpmetervärdet. Större diametern för högre stimpmetervärde kan enkelt sammanfattas via illustration (**Figur 20**); grövre yta leder till större friktion, genom att öka diameter minskar man störningen som leder till mindre friktion. Höjden påverkar motståndet genom den totala kontaktytan mot bollen, mer material leder till större motstånd [26] och kan sammanfattas genom ekvationen för dragmotstånd:

$$D = Cd \cdot \frac{r \cdot V^2}{2} \cdot A \quad (8)$$

Där förhållandet mellan arean (A) och dragmotståndet (D) är linjärt. Större area leder enligt ekvationen (8) alltid till större dragmotstånd.

Resultaten för prototyperna tillverkade i TPU95A gav goda resultat för att nå de efterfrågade friktionskoefficienterna och utifrån dessa observationer uteslöts både ABS och PETG från vidare testning.

6.4 Resultatet

När prototyp 1 och 2 inte klarade funktionskraven övervägde vi ytbehandling, som gummispray för att öka friktionen och minska bollens rullning. Det kunde ha gett enkel lösning för realistisk friktion. Men vi insåg snabbt flera nackdelar med det tillvägagångssättet.

Först skulle ytbehandlingen kunna påverka hållbarheten. Ytbehandling slits snabbt vid användning, vilket innebär återskapning av friktionsegenskaper. Vi strävade efter hållbarhet över tid, så detta fungerande inte. Slitage riskerar att ge ojämn friktion, och byte av plattan minskar produktvärdet och användbarheten. Vi bedömde även att ytbehandling inte skulle kunna minska rullavståndet tillräckligt.

För att säkerställa att vi inte uteslöt några lösningar som potentiellt kunde möta målen med hög kvalitet och hållbarhet, valde vi att hålla en bred ansats i problemanalysen. Genom att inte begränsa oss i vårt sökande, ökade vi chanserna att identifiera en effektiv och hållbar lösning. Detta innebar att vi analyserade en kombination av material och deras samspel med de specifika ytegenskaperna vi eftersträvade. Ett alltför smalt fokus på en enda lösning kan ofta göra att innovativa alternativ förbises, dvs alternativ som kan bidra till att förbättra både produktens prestanda och kvalitet. Därför valde vi att hålla en öppen syn på problemformuleringen för att kunna utforska och överväga alla aspekter av problemet.

Sammanfattningsvis övergav vi idén om ytbehandling och valde istället att fokusera på en design där ytegenskaperna uppnås genom materialets och designens fysikaliska egenskaper. Detta gav oss en lösning som både ger en mer hållbar produkt och bättre friktionsegenskaper. I framtida iterationer kan vi även undersöka möjligheten att optimera höjden på träningsplattan ytterligare, så att den både bibehåller realistiska friktionsegenskaper och är mer kompakt i sin design.

6.5 Osäkerheter

I vår studie har vi identifierat flera osäkerheter som kan påverka resultaten. En viktig aspekt är de matematiska fel som kan uppstå, vilket betonar vikten av att använda etablerade principer inom fysik och matematik, inklusive relevanta formler och tidigare forskning. Det är avgörande att grunda våra beräkningar på solid vetenskaplig kunskap för att säkerställa deras tillförlitlighet.

Ett konkret exempel på detta är källan USGA Green Speed Physics [2], där det framkommer att de inte tar hänsyn till bollens placering på stimpmetern. Istället baserar de sina beräkningar på hela instrumentets längd, vilket kan leda till avvikelser i resultaten. Dessutom använder de enheterna fot och tum i samma ekvationer, vilket kan skapa ytterligare förvirring och påverka precisionen i de matematiska beräkningarna. Detta visar på vikten av att vara medveten om de variabler som kan påverka resultaten, och att säkerställa att alla faktorer beaktas i analysen.

En annan viktig aspekt är den mänskliga faktorn, som kan introducera osäkerheter i experimentella förhållanden. Till exempel, när vi skar ut den gräsliknande ytan, förekom flera fel som kan påverka ytegenskaperna och därmed hur långt bollen rullar. I våra mätningar observerades en variation i de avstånd som bollen rullade, där felmarginalen uppgick till så mycket som 7%. Detta innebär att de uppmätta avstånden kan avvika med upp till 7% från de faktiska värdena.

Denna osäkerhet belyser vikten av noggrannhet och repetition i experiment för att stärka resultaten och öka tillförlitligheten i de slutsatser som dras. För att kunna lita på resultaten är det avgörande att kunna minimera påverkan av dessa osäkerheter genom noggrant genomförda tester och ha kontrollerade förhållanden.

Vi har också observerat att det finns en begränsad mängd forskning kring metoder för att öka friktionen. Detta beror på att det i många tillämpningar ofta finns ett större fokus på att minska friktionen för att exempelvis minska slitage på utrustning och öka verkningsgraden. Resultatet är att den tillgängliga informationen om hur friktion kan förstärkas är knapp, vilket gör det utmanande att dra definitiva slutsatser inom detta område.

Detta skapar en paradox för forskningen: medan friktion är en kritisk faktor i många industriella och tekniska sammanhang, tenderar fokus att ligga på att minimera den snarare än att maximera den. För att kunna utveckla effektiva lösningar för situationer där ökad friktion är önskvärd, krävs mer forskning och praktiska studier med detta som mål. Det behövs en djupare förståelse för de mekanismer som påverkar friktion och hur olika material och ytegenskaper kan optimeras. Utan detta underlag blir det svårt att formulera effektiva strategier och rekommendationer för att öka friktionen i specifika applikationer.

6.6 Utmaningar

Bristen på mätdata i figur 28, för förväntad stimp 8, 11 och 12 är i detta fall inte en konsekvens av experimentella designen, utan har uppstått på grund av externa begränsningar, vilket kan vara ett vanligt förekommande problem i experimentella projekt, särskilt där specialiserad utrustning och specifika material krävs.

Först och främst har tillgången till 3D printern varit en avgörande faktor. När flera projekt eller användare behöver dela samma utrustning kan tidsplaneringen fördröjas. Detta förhållande kan ha bidragit till att vissa stimpvärden inte kunde utvärderas som planerat, vilket påverkar experimentets kontinuitet.

Vidare, problem med materialtillgång är ett annat område där förseningar ofta inträffar. Eftersom materialet tog slut och nytt material behövde beställas innebar detta en tidsfördröjning som låg utanför vår kontroll. Denna erfarenhet illustrerar vikten av att ha beredskap för materialbeställningar och att förutse behov under projektets gång, något som kan vara svårt om förbrukningen ökar mer än förväntat.

Slutligen uppstod tekniska problem med printern, vilket ledde till felaktiga utskriften. 3D-printning kan vara en process där detaljerade inställningar och maskinens tillstånd har stor påverkan på resultatet. Att printern inte fungerade korrekt försvårade framställningen av prototyper och bidrog till att vissa experimentella mätvärden saknades.

6.7 Kvalitet och vidareutveckling

Kvaliteten på produkten är en central faktor som måste övervägas, särskilt när det gäller hållbarhet och långsiktig användning. Ett sätt att förbättra hållbarheten är att skriva ut bottenstrukturen i ett styvare och mer robust material som PLA eller ABS som ger den nödvändiga strukturella styrkan och stabiliteten åt plattan och säkerställer att grunden förblir fast och stabil under användning. Kombinationen av det flexibla TPU95A för staplarna och det styva ABS-materialet för botten skapar en balanserad konstruktion, där ytan är responsiv och flexibel, medan basen ger den nödvändiga hållbarheten och stödet. Detta skulle ge bättre stöd och stabilitet, vilket är viktigt för att produkten ska klara av upprepade påfrestningar, såsom golfslag och transporter. Som tur är kan en FDM skrivare enkelt användas för att skriva ut med två olika material. Om skrivaren har ett enda munstycke måste materialet bytas manuellt under utskriften. Däremot, om skrivaren är utrustad med två munstycken, hanteras materialbytet automatiskt av skrivaren.

En annan aspekt att ta hänsyn till är printhastigheten och hur den påverkar kvaliteten. Vi använde oss av en Ultimakerskrivare med en snabb inställning för printhastigheten, vilket påverkar precisionen för den slutliga produkten. Långsammare printhastigheter tenderar att resultera i högre precision och bättre detaljrikedom, medan snabbare utskrifter kan spara tid men på bekostnad av precision och noggrannhet. När produkten är avsedd att säljas är det viktigt att uppnå en tilltalande och professionell finish. Om produkten inte ser högkvalitativ ut kan detta minska dess kommersiella värde, vilket innebär att utskriftskvaliteten måste prioriteras.

För att vidareutveckla golfträningsplattan bör fokus ligga på att ytterligare förbättra både friktionsegenskaper och stabilitet. Detta kan uppnås genom att utföra fler tester för att optimera parametrar som stapelhöjd och avstånd. Genom att analysera resultaten kan vi identifiera specifika värden som förbättrar hållbarheten. Längre staplar kan visa sig vara mindre hållbara eftersom de slits snabbare till viss höjd, vilket gör det viktigt att hitta en optimal höjd som balanserar friktion och livslängd. Genom dessa justeringar kan plattan anpassas för att uppnå mer exakta friktionsegenskaper, vilket i sin tur förbättrar både känslan och precisionen i puttövningar. Den gräslignande texturen har visat sig vara avgörande för att säkerställa en jämn och konsekvent rörelse av golfbollen. Därför kan framtida utveckling dra nytta av fortsatt forskning kring hur olika ytor påverkar bollens rullning för att maximera prestandan.

I nuläget är vår prototypdesign relativt hög, med en totalhöjd på upp till 5,8 mm (0,8 mm platta + 5 mm staplar) jämfört med den idealiserade höjden på 2 mm, vilket också påverkar realismen och portabiliteten. Med mer tid och ytterligare iterationer skulle vi kunna arbeta vidare på att kombinera parametrarna för att minska den totala höjden utan att kompromissa med friktionsegenskaperna. Detta skulle bidra till att skapa en platta som både uppnår rätt friktionsegenskaper och samtidigt är lättare att använda och förvara.

6.8 Förväntade konsekvenser

Resultatet från denna studie har bidragit till framställningen av träningsplattor via 3D-utskrift, där fokuset låg på optimering av stabilitet och friktion. Via resultatet och tidigare forskning inom sportteknologi och materialvetenskap kan prototypen leda till positiva steg mot en förbättrad golfupplevelse för användaren.

Som tidigare forskning presenterade var det viktigt med materialval och ytegenskaper för att simulera naturliga förhållanden för en golfgreen för att ge en autentisk golfkänsla. Enligt undersökningar via Golf Aid Advisor är golfräningshjälpmedel som utvecklar golfspelarens "teknik och precision" via direkt återkoppling att föredra. Det möjliggör även korrigering av spelarens problemområden, vilket enligt studien bidrog till förbättrade prestationer och ökade självförtroende (Golf Aid Advisor, n.d.) [27].

Avslutningsvis indikerar denna studie att den framtagna prototypen var bättre än marknadens ledande träningplatta "Pelz Tutor" och denna slutsats kan ge grunden för en revolutionerad utveckling inom golfräningshjälpmedel.

Referenser

1. The Sand Trap .com. (n.d.). *PGA Tour Putts Gained/Make Percentage Stats*. [online]
Available at:
<https://thesandtrap.com/forums/topic/51757-pga-tour-putts-gainedmake-percentage-stats/>
2. USGA Green Speed Physics. *The laws of physics applied to golf course maintenance practices*.
<https://www.waddengolfacademy.com/putting/USGA%20Green%20Speed%20Physics.pdf>
3. Bauer, W., & Westfall, G. D. (2011). *University Physics with Modern Physics (2nd ed.)*. McGraw-Hill.
4. www.njgolf.se. (n.d.). *Hur är en golfboll uppbyggd? | NJGolf.se*.
<https://www.njgolf.se/cms/golfbollens-uppbyggnad>
5. jonathansantos.com. (n.d.). *Jonathan Santos*.
<https://jonathansantos.com/diy-golf-stimpmeter.html>
6. <https://ferrosos.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/material-selection-in-mechanical-design.pdf>
7. Ansys GRANTA EduPack Software, ANSYS, Inc., Cambridge, UK, 2024 (www.ansys.com/materials).
8. MatWeb (n.d.). *MatWeb - The Online Materials Information Resource*. [online]
www.matweb.com. Available at:
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab96a4c0655c4018a8785ac4031b9278>
9. Aziz, R., Ul Haq, M.I. and Raina, A. (2020). Effect of surface texturing on friction behaviour of 3D printed polylactic acid (PLA). *Polymer Testing*, 85, p.106434.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2020.106434>
10. Sudeepan, J., Kumar, K., Barman, T.K. and Sahoo, P. (2014). Study of Friction and Wear Properties of ABS/Kaolin Polymer Composites Using Grey Relational Technique. *Procedia Technology*, 14, pp.196–203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.08.026>
11. Mater and Plast (n.d.). Friction Behavior of 3D-printed Polymeric Materials Used in Sliding Systems. [online] 58(1), pp.176–185. Available at:
<https://revmaterialeplastice.ro/pdf/19%20CHISIU%201%2021.pdf>
12. Palaiam Siddikali and Rama, S. (2022). Performance Evaluation of CNT Reinforcement on Electroless Plating on Solid Free-Form-Fabricated PETG Specimens for Prosthetic Limb Application. *Polymers*, 14(16), pp.3366–3366. doi:<https://doi.org/10.3390/polym14163366>
13. www.matweb.com. (n.d.). *MatWeb - The Online Materials Information Resource*. [online]
Available at:
<https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=0e37a459c4eb452faa9d92659f9a0ccc&ckck=1>

14. Formlabs. (n.d.). *SLS Powders: 3D Printing Materials for the Fuse Series*. [online] Available at: <https://formlabs.com/eu/materials/sls-powders/>
15. Sato, S. *et al.* (2020) *Dry sliding friction and wear behavior of thermoplastic polyurethane against abrasive paper*, *Biotribology*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352573820300160?via=ihub>
16. High Performance Polymer. (n.d.). *Vad är polypropen (PP)?* [online] Available at: <https://hogpresterandepolymersverige.com/pages/what-is-polypropylene-pp?shpxid=b7426e3e-9553-4229-a1f4-d17d095d40f8>
17. Why Some Rotomolded Tanks are Black in Color Carbon Black and Plastics. (n.d.). Available at: <https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/images/uploads/Carbon-Black-and-Plastics.pdf>
18. Şirin, Ş., Aslan, E. and Akıncıoğlu, G. (2022) *Effects of 3D-printed PLA material with different filling ...*, *researchgate*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/362128134_Effects_of_3D-printed_PLA_material_with_different_filling_densities_on_coefficient_of_friction_performance
19. Chisuiu, G., Stoica, N.-A. and Stoica, A.-M. (2021). Friction Behavior of 3D-printed Polymeric Materials Used in Sliding Systems. *Materiale Plastice*, [online] 58(1), pp.176–185. Available at: <https://revmaterialeplastice.ro/Articles.asp?ID=5457> .
20. Myer Kutz (2017). *Applied plastics engineering handbook : processing, materials, and applications*. Boston: Ma.
21. Grames, E. (2020). *FDM 3D Printing – Simply Explained*. [online] All3DP. Available at: <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
22. Testbook. (n.d.). *Stereolithography Process- Working, Advantages, Applications*. [online] Available at: <https://testbook.com/mechanical-engineering/stereolithography-process>
23. formlabs (2019). *An Introductory Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing*. [online] Formlabs. Available at: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>
24. MECH ENG 4M06 - Design Project, Materials Selection in Design, McMaster University, School of Engineering,
25. Stickman Physics. (n.d.). *Frictional force*. Retrieved October 10, 2024, from <https://stickmanphysics.com/stickman-physics-home/forces/frictional-force/>
26. NASA Glenn Research Center. (n.d.). *What happens to an object as it falls?* NASA. Retrieved October 15, 2024, from <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/falling.html>
27. Golf Aid Advisor. (n.d.). *The importance of golf training aids*. Retrieved October 30, 2024, from <https://golfaidadvisor.com/the-importance-of-golf-training-aids>

A Material efter första filtrering

ABS (10% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (10% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (10% stainless steel fiber)
ABS (15% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (20% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (20% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (20% glass fiber, injection molding, flame retarded)
ABS (30% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (30% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (40% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (6% stainless steel fiber)
ABS (7% stainless steel fiber)
ABS (flame retarded, molding and extrusion)
ABS+PA (unfilled)
ABS+PBT (10% glass fiber)
ABS+PBT (10% glass fiber, flame retarded)
ABS+PBT (20% glass fiber)
ABS+PBT (30% glass fiber)
ABS+PBT (impact modified)
ABS+PBT (unfilled)
ABS+PC (flame retarded)
ABS+PC (injection molding and extrusion)
ABS+PVC (flame retarded)
Allyl diglycol carbonate (sheet, cast)
ASA+PC (unfilled)
ASA+PVC (unfilled)
CA (molding)
CAB (12-18% plasticizer)
CAB (4-11% plasticizer)
CAP (13-18% plasticizer)
CAP (7-12% plasticizer)
CN (plasticized)
EC (molding compound)
Epoxy resin (cycloaliphatic)
Epoxy resin (flexibilized)
Epoxy resin (heat resistant)
Epoxy resin (unfilled)

Hard rubber (Ebonite)
LCP (30% carbon fiber)
MF (alpha cellulose filled, modified)
MF (alpha cellulose filler)
MF (rag filler)
MF (woodflour filler)
PA1010 (molding and extrusion)
PA11 (rigid)
PA410 (molding and extrusion)
PA6 (30% carbon fiber)
PA6+PP (30-35% glass fiber)
PA610 (30-40% glass fiber)
PA610 (unfilled)
PA612 (10% PTFE, lubricated)
PA612 (30% carbon fiber, 10% PTFE, lubricated)
PA612 (30% glass fiber, 15% PTFE, lubricated)
PA612 (30% glass fiber, flame retarded)
PA612 (30-35% glass fiber)
PA612 (33% glass fiber, toughened)
PA612 (molding)
PA66 (10% carbon fiber, 25% glass fiber)
PA66 (10% carbon fiber, 35% glass fiber)
PA66 (10% stainless steel long fiber)
PA66 (15% nickel-coated carbon fiber)
PA66 (20-25% glass fiber, flame retarded)
PA66 (30% carbon fiber)
PA66 (30% long carbon fiber)
PA66 (40% long carbon fiber)
PA66 (5% stainless steel long fiber)
PA66 (flame retarded)
PA66 (lubricated, 10% PTFE)
PA66/6 (15% glass fiber)
PA66/6 (15% glass fiber, impact modified)
PA66/6 (20% glass fiber)
PA66/6 (25% glass fiber, flame retarded)
PA66/6 (30% carbon fiber)
PA66/6 (30% glass fiber)
PA66/6 (30% glass fiber, flame retarded)
PA66/6 (30% mineral)
PA66/6 (33% glass fiber, lubricated)
PA66/6 (35% glass fiber)
PA66/6 (40% glass fiber)

PA66/6 (40% long glass fiber)
PA66/6 (43% glass fiber)
PA66/6 (flame retarded)
PA66/6 (impact modified)
PA66/6 (molding)
PAI (30% carbon fiber)
PAI (graphite and PTFE)
PARA (30% carbon fiber)
PBI (unfilled)
PBT (30% carbon fiber)
PBT (7-15% glass fiber, flame retarded)
PBT (general purpose, flame retarded)
PC (10% stainless steel fiber)
PC (10-15% PTFE, lubricated)
PC (20% carbon fiber)
PC (20% glass fiber, 10-15% PTFE)
PC (20-30% glass fiber, flame retarded)
PC (30% glass fiber, 2% silicone)
PC (30% graphite fiber)
PC (30% PTFE, lubricated)
PC (40% carbon fiber)
PC (6% stainless steel fiber)
PC (low viscosity, molding and extrusion, flame retarded)
PC+PBT (10% glass fiber)
PC+PBT (20% glass fiber)
PC+PBT (30% glass fiber)
PC+PBT (flame retarded)
PC+PBT (general purpose)
PC+PBT (impact modified)
PC+PBT (impact modified, flame retarded)
PC+PET (10% glass fiber)
PC+PET (20% glass fiber)
PC+PET (30% glass fiber)
PC+PET (flame retarded)
PC+PET (general purpose)
PC+PET (impact modified)
PC+Polyester transparent amorphous (general purpose)
PC+Polyester transparent amorphous (impact modified)
PC+Polyester transparent amorphous (optical quality)
PCTA (20% glass fiber)
PCTA (unfilled)
PCTG (unfilled)

PE (cross-linked, molding)
PEEK (30% carbon fiber)
PEEK (30% carbon fiber, lubricated)
PEEK (40% carbon fiber)
PEI (30% carbon fiber)
PEK (20% glass fiber)
PEK (20-30% carbon fiber)
PEK (30% carbon fiber)
PEK (30% glass fiber)
PEK (unfilled)
PEKK (unfilled, amorphous)
PESU (30% carbon fiber)
PET (30% carbon fiber)
PETG (unfilled)
PF (casting resin)
PF (cellulose filled, impact modified, molding)
PF (cotton filled, impact modified, molding)
PF (fabric and rag filled, impact modified, molding)
PF (glass and/or mineral filled, heat resistant, molding)
PF (woodflour and mineral filled, molding)
PF (woodflour filled, molding)
PI (15% graphite)
PI (25% graphite)
PI (30% carbon fiber)
PI (30% carbon fiber, crystallized)
PI (unfilled)
PLA (flame retarded)
PLA (general purpose)
PLA (high heat)
PLA (high heat, high impact)
PLA (high impact)
PLA (impact modified)
PLA (low modulus)
PLA (lubricated)
PLA (ultra low modulus)
PMMA+PC (unfilled)
PMP (10-30% glass fiber)
Polyester (cast, rigid)
Polyester+PC blend (30% glass fiber-reinforced)
POM (30% carbon fiber)
POM (copolymer, 10% carbon fiber, 10% PTFE)
POM (copolymer, 2-20% PTFE)

POM (homopolymer, 1.5% PTFE)
PP (10% carbon fiber)
PP (10-12% stainless steel fiber)
PP (copolymer, 20% talc, flame retarded)
PP (copolymer, 30% glass fiber, flame retarded)
PP (copolymer, conductive, 5% carbon powder)
PP (homopolymer, flame retarded HB)
PP (homopolymer, flame retarded V-0)
PP (impact copolymer, flame retarded)
PPA (30% long carbon fiber)
PPA (50% carbon fiber)
PPE+PA (unfilled)
PPE+PS alloy (15% glass fiber)
PPE+PS alloy (20% glass fiber)
PPE+PS alloy (20-30% mineral)
PPE+PS alloy (30% glass fiber)
PPE+PS alloy (30% graphite fiber)
PPE+PS alloy (40% aluminum flake)
PPE+PS alloy (high glass transition)
PPE+PS alloy (impact modified)
PPE+PS alloy (low glass transition)
PPS (20% carbon fiber)
PPS (30% carbon fiber)
PPS (30% carbon fiber, 15% PTFE)
PPS (40% carbon fiber)
PS (high impact, flame retarded)
PSU (30% carbon fiber)
PSU (flame retarded)
PTT (15% glass fiber)
PTT (15% glass fiber, 15% PTFE)
PTT (general purpose)
PTT (impact modified)
PUR(r) (casting resin, unsaturated)
PVC+PMMA (unfilled)
SPS (10% carbon fiber)
SPS (10% glass fiber)
SPS (15% carbon fiber, 15% PTFE)
SPS (15% carbon fiber, 15% PTFE, 2% silicone)
SPS (15% glass fiber, 15% PTFE, 2% silicone)
SPS (20% carbon fiber)
SPS (20% glass fiber)
SPS (30% carbon fiber)

SPS (30% glass fiber)
SPS (30% glass fiber, 10% PTFE, 2% silicone)
SPS (30% glass fiber, 15% PTFE)
SPS (40% carbon fiber)
SPS (40% glass fiber)
SPS (40% glass fiber, 5% PTFE)
TPU(r) (30% carbon fiber)
UF (alpha cellulose filler)
UF (woodflour filler)
VE (flame retarded)
VE (flexible)
VE (novolac)
VE (novolac, flame retarded)
VE (standard)

B Material efter andra filtrering

ABS (10% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (10% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (10% stainless steel fiber)
ABS (15% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (20% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (20% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (20% glass fiber, injection molding, flame retarded)
ABS (30% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (30% carbon fiber, EMI shielding, conductive, flame retarded)
ABS (40% carbon fiber, EMI shielding, conductive)
ABS (6% stainless steel fiber)
ABS (7% stainless steel fiber)
ABS (flame retarded, molding and extrusion)
ABS+PBT (10% glass fiber)
ABS+PBT (10% glass fiber, flame retarded)
ABS+PBT (20% glass fiber)
ABS+PBT (30% glass fiber)
ABS+PBT (impact modified)
ABS+PBT (unfilled)
Allyl diglycol carbonate (sheet, cast)
ASA+PC (unfilled)

ASA+PVC (unfilled)
CA (molding)
CAB (12-18% plasticizer)
CAB (4-11% plasticizer)
CAP (13-18% plasticizer)
CAP (7-12% plasticizer)
CN (plasticized)
EC (molding compound)
Epoxy resin (cycloaliphatic)
Epoxy resin (flexibilized)
Epoxy resin (heat resistant)
Epoxy resin (unfilled)
Hard rubber (Ebonite)
LCP (30% carbon fiber)
MF (alpha cellulose filled, modified)
MF (alpha cellulose filler)
MF (rag filler)
MF (woodflour filler)
PA1010 (molding and extrusion)
PA11 (rigid)
PA410 (molding and extrusion)
PA610 (30-40% glass fiber)
PA610 (unfilled)
PA612 (10% PTFE, lubricated)
PA612 (30% carbon fiber, 10% PTFE, lubricated)
PA612 (30% glass fiber, 15% PTFE, lubricated)
PA612 (30% glass fiber, flame retarded)
PA612 (30-35% glass fiber)
PA612 (33% glass fiber, toughened)
PA612 (molding)
PA66/6 (15% glass fiber)
PA66/6 (15% glass fiber, impact modified)
PA66/6 (20% glass fiber)
PA66/6 (25% glass fiber, flame retarded)
PA66/6 (30% carbon fiber)
PA66/6 (30% glass fiber)
PA66/6 (30% glass fiber, flame retarded)
PA66/6 (30% mineral)
PA66/6 (33% glass fiber, lubricated)
PA66/6 (35% glass fiber)
PA66/6 (40% glass fiber)
PA66/6 (40% long glass fiber)

PA66/6 (43% glass fiber)
PA66/6 (flame retarded)
PA66/6 (impact modified)
PA66/6 (molding)
PAI (30% carbon fiber)
PAI (graphite and PTFE)
PBT (30% carbon fiber)
PBT (7-15% glass fiber, flame retarded)
PBT (general purpose, flame retarded)
PC (10% stainless steel fiber)
PC (10-15% PTFE, lubricated)
PC (20% carbon fiber)
PC (20% glass fiber, 10-15% PTFE)
PC (20-30% glass fiber, flame retarded)
PC (30% glass fiber, 2% silicone)
PC (30% graphite fiber)
PC (30% PTFE, lubricated)
PC (40% carbon fiber)
PC (6% stainless steel fiber)
PC (low viscosity, molding and extrusion, flame retarded)
PC+PBT (10% glass fiber)
PC+PBT (20% glass fiber)
PC+PBT (30% glass fiber)
PC+PBT (flame retarded)
PC+PBT (general purpose)
PC+PBT (impact modified)
PC+PBT (impact modified, flame retarded)
PC+PET (10% glass fiber)
PC+PET (20% glass fiber)
PC+PET (30% glass fiber)
PC+PET (flame retarded)
PC+PET (general purpose)
PC+PET (impact modified)
PCTA (20% glass fiber)
PCTA (unfilled)
PCTG (unfilled)
PEEK (30% carbon fiber)
PEEK (30% carbon fiber, lubricated)
PEEK (40% carbon fiber)
PEI (30% carbon fiber)
PEK (20% glass fiber)
PEK (20-30% carbon fiber)

PEK (30% carbon fiber)
PEK (30% glass fiber)
PEK (unfilled)
PEKK (unfilled, amorphous)
PET (30% carbon fiber)
PETG (unfilled)
PF (casting resin)
PF (cellulose filled, impact modified, molding)
PF (cotton filled, impact modified, molding)
PF (fabric and rag filled, impact modified, molding)
PF (glass and/or mineral filled, heat resistant, molding)
PF (woodflour and mineral filled, molding)
PF (woodflour filled, molding)
PI (15% graphite)
PI (25% graphite)
PI (30% carbon fiber)
PI (30% carbon fiber, crystallized)
PI (unfilled)
PMMA+PC (unfilled)
PMP (10-30% glass fiber)
Polyester (cast, rigid)
POM (30% carbon fiber)
POM (copolymer, 10% carbon fiber, 10% PTFE)
POM (copolymer, 2-20% PTFE)
POM (homopolymer, 1.5% PTFE)
PP (10% carbon fiber)
PP (10-12% stainless steel fiber)
PP (copolymer, 20% talc, flame retarded)
PP (copolymer, 30% glass fiber, flame retarded)
PP (copolymer, conductive, 5% carbon powder)
PP (homopolymer, flame retarded HB)
PP (homopolymer, flame retarded V-0)
PP (impact copolymer, flame retarded)
PPA (30% long carbon fiber)
PPA (50% carbon fiber)
PPE+PS alloy (15% glass fiber)
PPE+PS alloy (20% glass fiber)
PPE+PS alloy (20-30% mineral)
PPE+PS alloy (30% glass fiber)
PPE+PS alloy (30% graphite fiber)
PPE+PS alloy (40% aluminum flake)

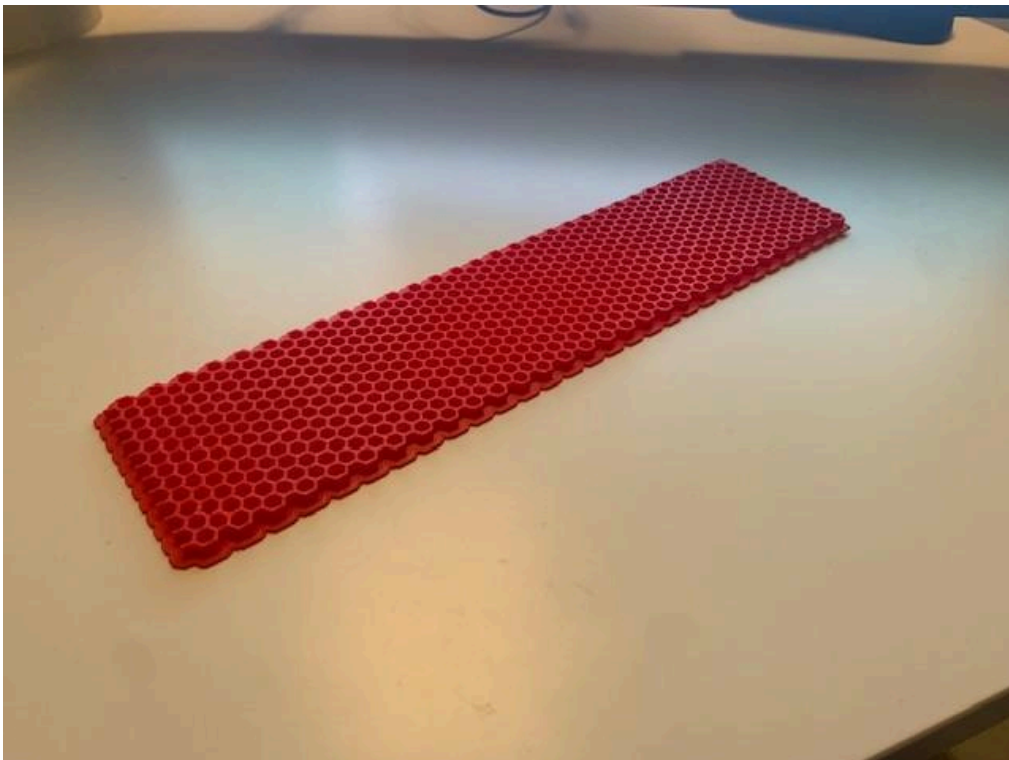
PPE+PS alloy (high glass transition)
PPE+PS alloy (impact modified)
PPE+PS alloy (low glass transition)
PPS (20% carbon fiber)
PPS (30% carbon fiber)
PPS (30% carbon fiber, 15% PTFE)
PPS (40% carbon fiber)
PS (high impact, flame retarded)
PTT (15% glass fiber)
PTT (15% glass fiber, 15% PTFE)
PTT (general purpose)
PTT (impact modified)
PUR(r) (casting resin, unsaturated)
PVC+PMMA (unfilled)
SPS (10% carbon fiber)
SPS (10% glass fiber)
SPS (15% carbon fiber, 15% PTFE)
SPS (15% carbon fiber, 15% PTFE, 2% silicone)
SPS (15% glass fiber, 15% PTFE, 2% silicone)
SPS (20% carbon fiber)
SPS (20% glass fiber)
SPS (30% carbon fiber)
SPS (30% glass fiber)
SPS (30% glass fiber, 10% PTFE, 2% silicone)
SPS (30% glass fiber, 15% PTFE)
SPS (40% carbon fiber)
SPS (40% glass fiber)
SPS (40% glass fiber, 5% PTFE)
TPU(r) (30% carbon fiber)
VE (flame retarded)
VE (flexible)
VE (novolac)
VE (novolac, flame retarded)
VE (standard)

C Bilagor

Prototyp 1 av PLA



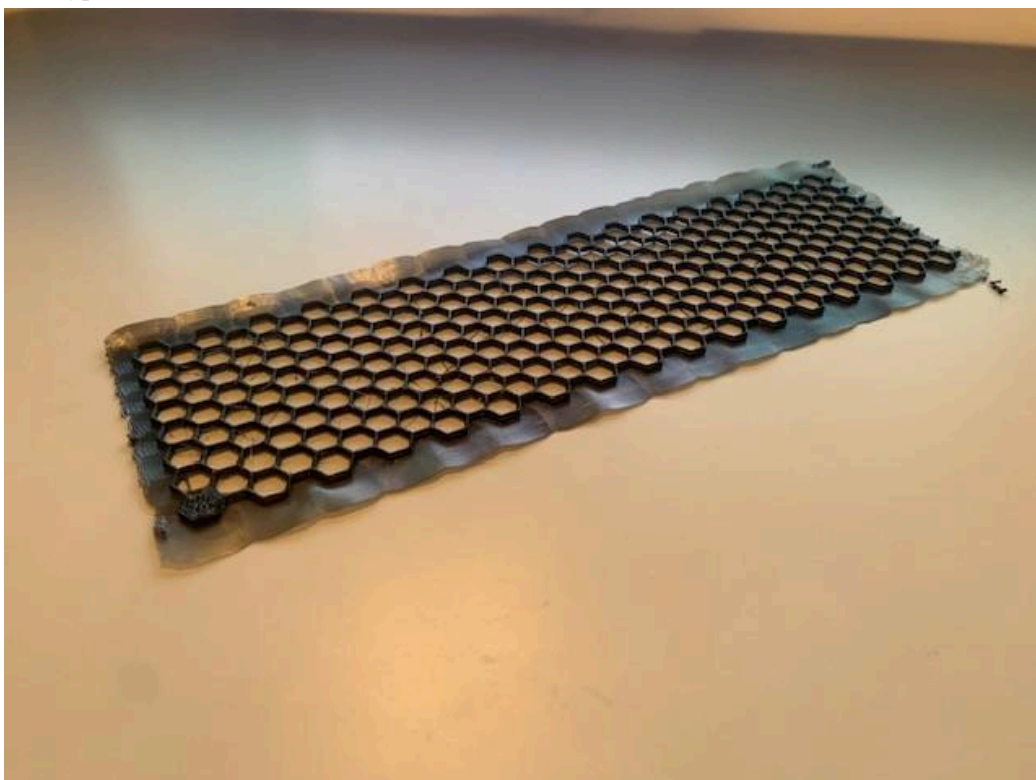
Prototyp 2 av PLA



Prototyp 1 av PLU 95A



Prototyp 2 av PLU 95A



Prototyp 3 av PLU 95A



Prototyp 3 av PLU 95A med 10 mm avstånd mellan staplar



Prototyp 3 av PLU 95A med 0,3 mm i diameter på staplar



Prototyp 3 av PLU 95A med 2,5 mm höjd på staplar



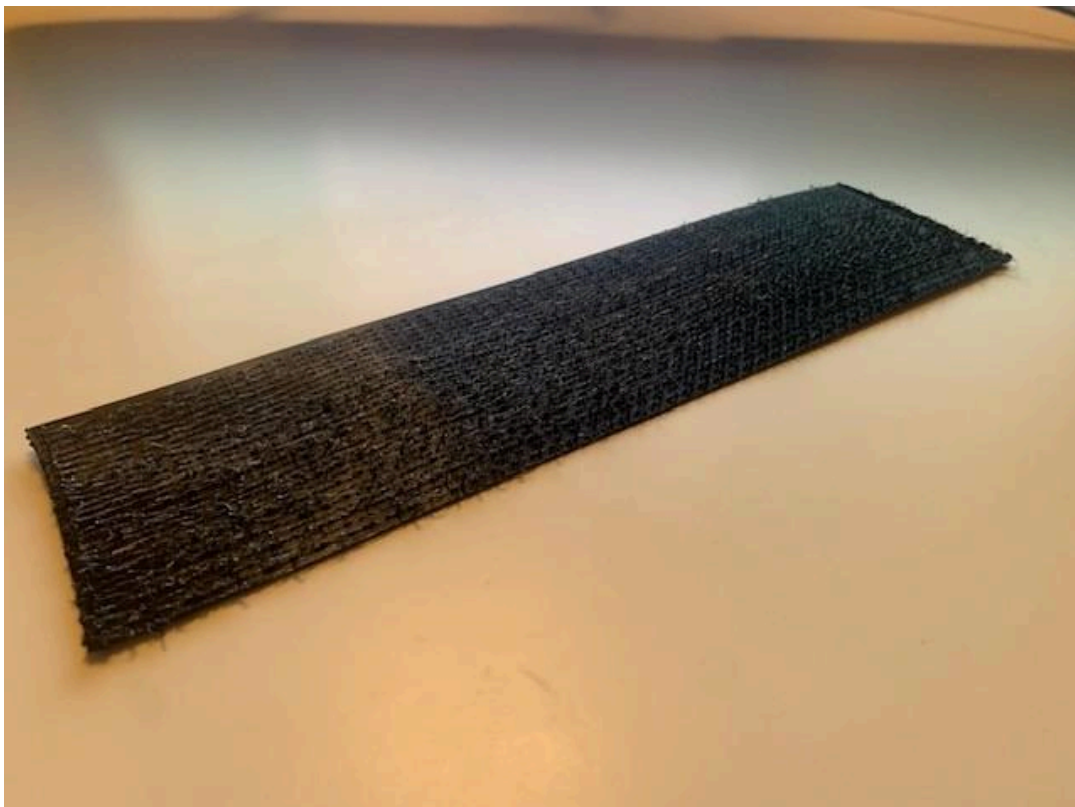
Prototyp förväntad stimp 7 av PLU 95A



Prototyp förväntad stimp 9 av PLU 95A



Prototyp förväntad stimp 10 av PLU 95A



INSTITUTIONEN FÖRFÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024
www.chalmers.se



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY