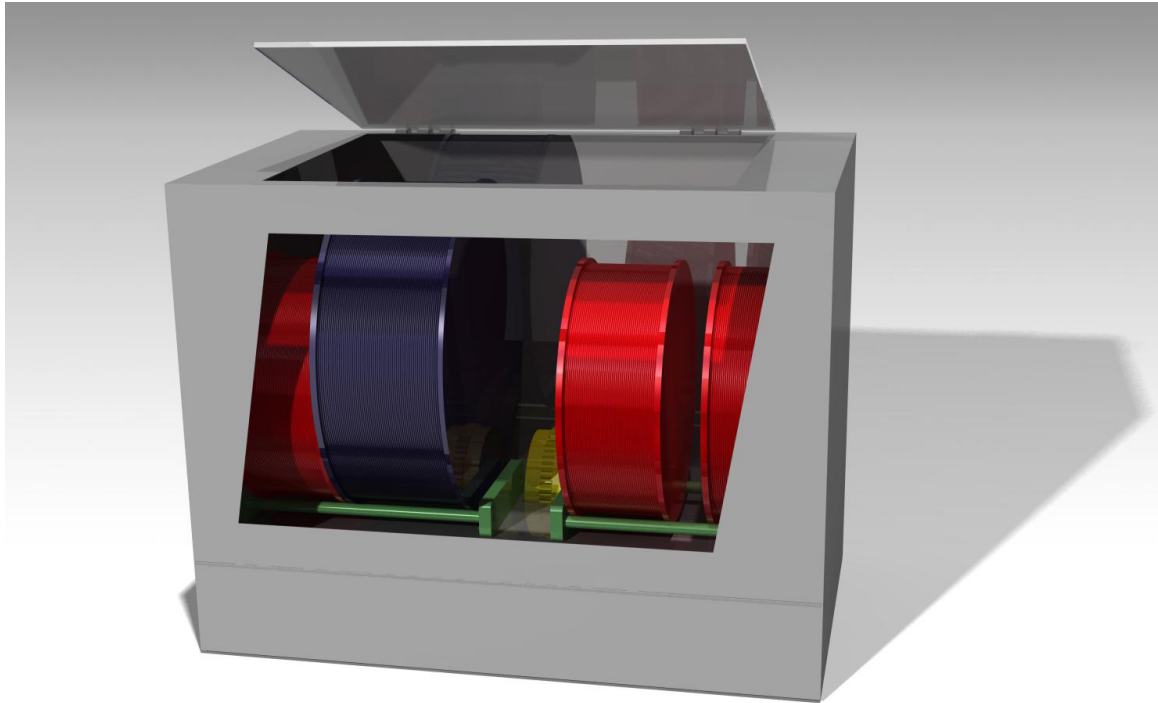




CHALMERS



Utveckling av smart filamenttork för 3D-skrivare

Ett produktutvecklingsprojekt för torkning och förvaring av filament till 3D-skrivare.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Douglas Kléen Lavass

Elliot Jonsson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2024

www.chalmers.se

Utveckling av smart filamenttork för 3D-skrivare

Ett produktutvecklingsprojekt för torkning och förvaring av filament till 3D-skrivare.

© DOUGLAS KLÉEN LAVASS, ELLIOT JONSSON, 2024.

Department of Industrial and materials science.

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telephone + 46 (0)31-772 1000

Cover:

[Catia V5 rendering of finished product, see references]

Göteborg, Sweden 2024

Sammanfattning

Utveckling av smart filamenttork för 3D-skrivare, ett produktutvecklingsprojekt för torkning och förvaring av filament till 3D-skrivare, är ett examensarbete om 180 högskolepoäng skrivet på svenska. Arbetet är genomfört vid institutionen Industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola i Göteborg, Sverige.

Med den additiva tillverkningens ökande popularitet och komplexitet tillkommer det hela tiden nya utmaningar för precision och hantering. När det handlar om 3D-skrivare och dess filament finns det många olika typer av material som kan användas för utskrift och vissa är känsliga för både temperatur och fukt. Företaget Zyyx 3D har därför letat efter ett bättre sätt att både torka och förvara dessa typer av filament. Genom att utföra traditionella produktutvecklings och idégenereringsmetoder kunde arbetet resultera i ett system vars syfte var att lösa de förutsatta utmaningarna. Med hjälp Uppdragsgivaren kunde projektet resultera i en funktionsduglig prototyp för att kunna utföra tester och utveckla det slutgiltiga konceptet som använder en desiccantrotor för att uppnå en torr förvaringsmiljö. Prototypen och dess mätresultat visar att det är ett möjligt sätt att lösa den här typen av problem även på en mer industriell skala med fler och större filamentrullar som kräver större förvaringsyta.

Keywords: 3D-skrivare, Additiv Tillverkning, Filament, Torkningsprocesser, Desiccant, Produktutveckling, Prototyp tillverkning, Stereolitografi, SLA, Fukthalt.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Innehållsförteckning	4
1. Introduktion	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Företagspresentation.....	6
1.3 Syfte.....	7
1.4 Frågeställningar.....	7
1.5 Avgränsningar.....	7
2. Problemdefinition	8
2.1 Teoretisk bakgrund.....	8
2.1.1 3D skrivarens bakgrund och olika processer.....	8
2.1.2 Förutsättningar.....	9
2.1.3 Filamentförvaring och dess utmaningar.....	10
2.1.4 Uppvärmningens påverkan i 3D utskrift.....	11
2.1.5 Övervakning av filament.....	13
2.2 Informationsökning filament.....	14
2.2.1 Befintlig marknad.....	14
2.2.2 Värme och torkning.....	15
2.2.3 Fläktanalys.....	15
2.2.4 Systemintegration.....	17
2.3 Marknadsundersökning.....	19
2.4 Preliminär kravspecifikation.....	19
3. Metodik	20
3.1 Funktionsanalys.....	20
3.2 Generering och hantering av koncept.....	20
3.3 Vidareutveckling av koncept.....	21
3.4 Modellering i 3D-miljö.....	21
3.5 Modellering av Prototyp.....	22
3.6 Funktionstest.....	22
3.7 Verifiering av kravspecifikation och frågeställningar.....	22
4. Resultat	23
4.1 Funktionsanalys.....	23
4.2 Generering och Utvärdering av koncept.....	26
4.2.1 Konceptgenerering i Morpheus.....	26
4.2.2 Elemineringsmatris.....	28

4.2.3 Pugh-Matris	29
4.2.4 Kesselringmatris	29
4.3 Vidareutveckling.....	30
4.3.1 Specificering av komponenter.....	30
4.3.2 Termiska analyser	33
4.3.3 Slutgiltig dimensionering.....	36
4.3.4 Komponentlista.....	37
4.4 Färdig 3D modell av slutprodukt.....	38
4.5 Tillverkning av prototyp	41
4.6 Kopplingsschema.....	42
4.7 Genomförda funktionstester.....	43
5. Diskussion	46
5.1 Analys av resultat.....	46
5.2 Verifiering av kravspecifikation	48
5.3 Verifiering av frågeställningar	49
5.4 Vidareutveckling.....	50
5.5 Felkällor	51
5.6 Etisk hållbarhetsanalys.....	52
5.6.1 Miljömässig hållbarhet	52
5.6.2 Ekonomisk hållbarhet	52
5.6.3 Social hållbarhet och etik.....	52
6. Slutsatser	53
7. Referenser	54
8. Bilagor.....	56
Bilaga 1. Kundintervjuer	56
Bilaga 2. Kravspecifikation	57
Bilaga 3. Elimineringsskema.....	58
Bilaga 4. Matrisresultat.....	59
Bilaga 5. Komponentlista.....	60
Bilaga 6. Testresultat.....	61

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

3D-utskrift är en av de senaste och viktigaste typerna av tillverkning inom industri 4.0. Det är ett simpelt koncept som går ut på att smälta filament på precisa ställen där det sedan får stelna vilket gör det till ett hållbart sätt att tillverka diverse produkter då materialspillet nästan blir försumbart. 3D-utskrift har under de senaste åren blivit större och mer tillgängligt, inte bara för företag utan även för privatpersoner och kan därför ses som en modern hobby. Samtidigt har utvecklingen gått vidare och det finns möjligheter att skriva ut i nya material som inte var tillgängliga för detta innan.

Idag används additiv tillverkning i form av 3D-utskrift med polymera material i flertalet applikationer som bland annat privat tillverkning eller småskaliga industriella serier. En av utmaningarna med känsligare typer av filament är att de är fukt känsliga och bör förvaras torrt för att inte påverka kvaliteten på utskriften. Dagens lösningar innefattar bland annat fläkt och värmeaggregatsuppvärmning samt slutna passiva torklösningar med torkpåsar.

1.2 Företagspresentation

Zyyx 3D är ett svenskt registrerat företag i Göteborg, Sverige. De specialiserar sig inom additiv tillverkning och mer specifikt 3D-utskrift med tillbehör. Framförallt utvecklar de sina egna 3D-skrivare som främst är menade för företag och deras prototyp tillverkning. 3D-skrivarna som Zyyx 3D tillhandahåller och säljer tillhör det övre segmentet på marknaden och kan hantera diverse komplexa material, däribland kompositer och polymerer. (ZYYX 3D, 2024)

1.3 Syfte

Projektet syftar till att utveckla en förbättrad metod för förvaring och användning av mer komplicerade utskriftsmaterial. Idag är vissa filament känsliga för temperatur och fukt och måste vakuumpackas för att bibehålla sina egenskaper. När förpackningen öppnas, försämras filamentets kvalitet i ogynnsamma miljöer, vilket påverkar utskriftsprocessen. Zyyx 3D-skrivare har ett inbyggt torksystem som håller filamentet torrt under drift, men skyddet upphör när skrivaren är avstängd och systemet har en begränsad kapacitet för en rulle åt gången. Dessutom har torksystemet hög energiförbrukning och kräver användarens medverkan för att vakuumpacka materialet efter varje användning. Projektet syftar därför till att utveckla ett system som kontinuerligt upprätthåller optimal temperatur och luftfuktighet, oavsett skrivartillstånd, och därigenom minskar risken för att filamentet förstörs. En fungerande prototyp ska levereras som grund för en framtida produkt för ZYYX 3D-skrivare.

1.4 Frågeställningar

Projektet kommer att innehålla fyra olika frågeställningar. En central fråga kommer att vara i vilken miljö det tänkta filamenterna håller sig funktionsdugliga längst och hur man åstadkommer detta samtidigt som skrivaren kan vara i bruk. Den centrala frågeställningen kan brytas ned i mindre delar som:

- Vilka är de viktigaste parametrarna för att en filamenttork ska fungera?
- Hur påverkar mätutrustningen testresultaten?
- Hur sammankopplas tork och förvaringsfunktion?
- Vilka lösningar finns för att skapa en torr sluten miljö?

1.5 Avgränsningar

Det finns många olika funktioner som kan läggas till i den här typen av produkt och därför kommer mest fokus läggas på produktens huvudfunktion som är att hålla filament varmt och fuktfritt samtidigt som det kan användas. Då målet är att ta fram en prototyp kommer bland annat materialval att vara begränsat för att hålla nere kostnader och göra framtagandet enklare, vilket kan komma att påverka prototypens prestanda i slutändan. Vidare frågor och utveckling av just 3D skrivare kommer inte att arbetas med då detta är ett separat system som kommer att möjliggöra användning tillsammans med redan existerande skrivare från företaget och dessa kommer att användas enbart för skalbarhet och modularitet.

2. Problemdefinition

2.1 Teoretisk bakgrund

I detta kapitel följer teoretisk bakgrund om 3D-skrivare, filament och förvaringstyper.

2.1.1 3D skrivarens bakgrund och olika processer

3D skrivarens historia är äldre än den kommersiella 3D skrivarens popularisering. I en artikel från den, inom CAD-programmering, väletablerade programvaran Autodesk beskrivs konceptet ha existerat sedan 1945 medan praktikens tillämpningar debuterar som InkJet, lanserad av Teletype under 1960-talet. Under 1980-talet utfärdades de första patenten kopplade till 3D-utskrift och mellan åren 1990 och 2010 tog den polymera sidan av 3D-utskrift fart. Ett open-source paradigmskifte leder till lanseringen av Makerbot 2009 som förändrar industrin och låter användarna skriva ut i ett friare format med tillgång till helt fria designers. (Autodesk, 2021)

Tekniken i dagens additiva tillverkningsmetoder varierar mellan vilken typ av process det är. Det finns vätskebaserade processer, pulverbaserade processer och processer baserade på fasta ämnen. Även arkbaserade eller pappersbaserad 3D utskrift kan ses som en något mindre tillämpad process. Några av de mest etablerade tillverkningsprocesserna avsedda för polymerer är SLA, FDM, Inkjet Printing och Polyjet 3D printing.

Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi (SLA) är den mest utbredda tillverkningsprocessen för snabb prototyp-tillverkning. Den kan producera högprecisa och detaljerade polymerdelar och introducerades 1988 av 3D Systems, Inc., baserad på arbetet av uppfinnaren Charles Hull. Processen går ut på att härda flytande fotopolymer lager för lager och i vissa fall efterhärda produkten med UV-strålning.

Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM) är den näst mest utbredda tillverkningsprocessen för snabb prototyp-tillverkning. Processen är ursprungligen utvecklad av företaget Stratasys i Eden Prairie, Minnesota och går ut på att genom ett munstycke smälta plast- eller vax-material från en spole. Munstycket kan styra flödet från det smälta materialet och är monterad på ett sätt som möjliggör translation i X- och Y riktning i förhållande till byggplattan som färdas nedåt lager för lager.

Inkjet Printing

Inkjet Printing är en mindre utbredd tillverkningsprocess och är ineffektiv för större objekt. Processen går ut på att genom 2 munstycken extrudera dels ett flytande byggnadsmaterial, vanligen plaster, och dels ett flytande stödmaterial, vanligen vax, som trycks ut i små droppar. Efter att dropparna har härdats i omgivande temperatur fräses en fräsmaskin av lagret och väldigt god ytjämnhet och precision är möjlig på utskriften, likt en CNC-maskin.

Polyjet 3D printing

Polyjet 3D printing uppkom på 2000-talet och kan liknas till en kombination av SLA och Inkjet där fotopolymerer droppas med hjälp av ett munstycke på en yta som sedan härdas direkt med hjälp av en UV-lampa som är monterad på munstycket. Fördelar över SLA anses vara mindre efterarbete, tystare och mindre farlig drift, enklare hantering av materialen som levereras i form av patroner. (Protolabs, 2023)

2.1.2 Förutsättningar

Vid alla former av 3D-utskrift spelar värme en stor roll. Beroende på vilken typ av material som skall skrivas ut behövs specifika temperaturer för att kunna smälta och forma filamentet till en slutgiltig produkt. Variationen av temperaturer kan därför komma att påverka ett eventuellt förvaringssystem, speciellt om olika typer av filament skall kunna förvaras på samma plats och klimat. En annan viktig aspekt är precisionen där det är en mängd olika förutsättningar som påverkar utskriftskvalitén. Ytterligare påverkan för utskriftskvalitén kan komma från var filamentet värms upp, hur precist munstycket och basplattan förflyttar sig samt hur väl processen är programmerad. Förändringar inom dessa områden kan ge olika typer av toleransförändringar och hur man programmerar dessa kan resultera i en produkt som inte är funktionsduglig i slutändan.

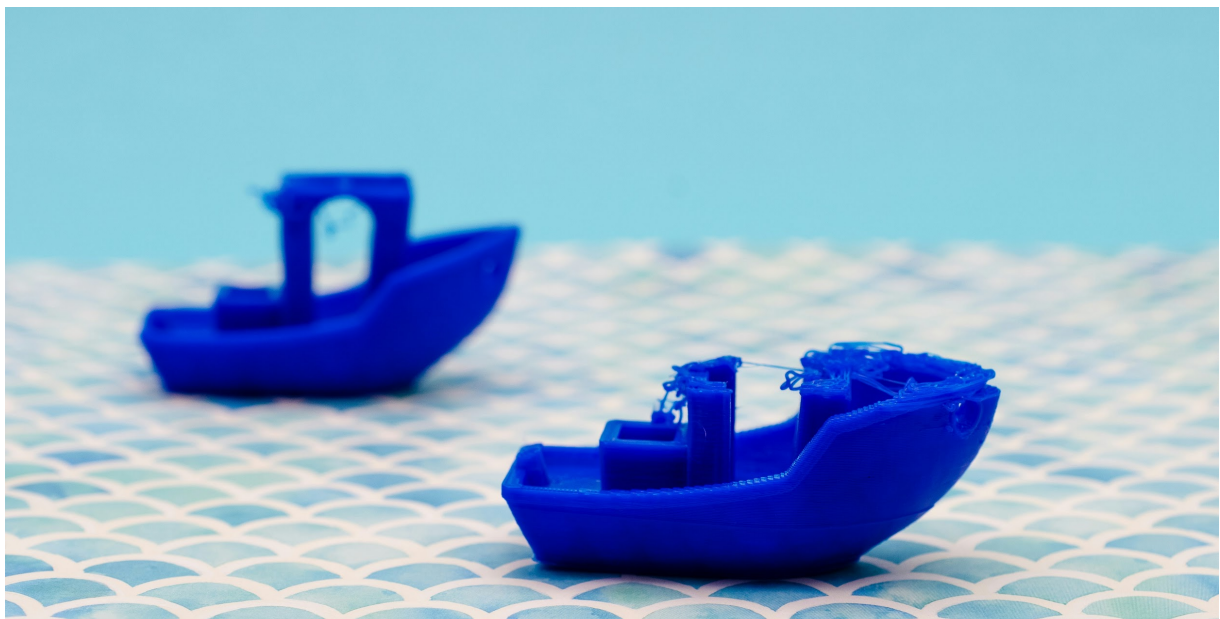
En annan viktig faktor är hur utrustningen hanteras av operatören. Filament kan vara känsligt för knutar och trassel som kan bli ett stort problem under processen. Här är det viktigt att hålla koll på ändarna på filamentrullen för att på bästa sätt motverka detta. Det kan även finnas fabriksfel som lyckas medföra den här typen av problem. Rullar som tillverkats fel kan redan vara trasiga innan förbrukning eller till och med ha gått av någonstans mellan de tänkta ändarna.

En sista faktor som totalt kan förstöra en utskrift är ifall materialet tar slut i mitten av processen. Det de flesta skrivare gör då är att skriva tomt vilket innebär att skrivaren tror att den gör något utan att faktiskt skriva ut. De tomma rörelserna resulterar därför i de flesta fallen i en helt ofärdig produkt som är nästan omöjlig att rädda samt ett onödigt utnyttjande av tid, material och energi. Detta undersöks vidare i avsnitt 2.1.5, *Övervakning av filament*.

2.1.3 Filamentförvaring och dess utmaningar

En av de viktigaste faktorerna för prestationen på en 3D-skrivare är hur fuktigt filamentet är vid utskrift. Beroende på hur fuktigt filamentet är samt hur känsligt materialet är för fukt kan det påverka utskriften avsevärt.

Detta sker eftersom delar av fukten inuti filamentet omedelbart förångas i munstycket vid utskrift. Effekten av det blir att det smälta filamentet får ojämn expansion, ökad vätskebildning och lufthål. Detta resulterar i flera olika problem som stringing, materialbortfall, hål, ytojämnheter och reducerad styvhet hos utskriften. Exempel på detta visas i figur 1, där filamentet bidragit till en felutskrift. (3devo, 2021)



Figur 1. *Stringing på grund av felaktig förvaring av filament.*

För att mäta ett materials egenskaper gällande fukt och avgöra om material är känsligt för fukt eller inte används Hygroskopi. Wikipedias bidragsgivare (2023) förklarar hygroskopi som en egenskap på ämnen som beskriver förmågan att ta upp fukt från bland annat luften. Hygroskopiska polymerer används i dagsläget i bred utsträckning för 3D utskrift och ställer till problem när de får ta upp för stora mängder fukt. Nedan listas några olika material använda inom FDM, samt dess hygroskopiska förmåga mätt i fuktabsorbering vid jämvikt (Equilibrium Moisture Content), något som motsvarar den fuktnivå där ett ämne omslutet med luft varken ökar eller minskar i fuktinnehåll. Nivån täcker ett intervall eftersom nivån beror på luftens temperatur, materialegenskaper och den relativa fukten hos materialet (Se Tabell 1).

Tabell 1, *Hygroskopi per material.*

Material	Hygroskopi (Fuktabsorbering vid jämvikt)
PLA (Polyaktid)	0.06 - 2.0 %
ABS - akrylonitrilbutadienstyren	0.1 - 0.3 %
Nylon (Nylon 6)	2.0 - 3.7 %
PETG (Polyetylen tereftalat med glykol)	0.2 - 0.3 %
TPUR (Termoplastisk polyuretan)	0.02 - 0,1 %
ASA - akrylonitilstyrenakrylat	0.3 - 0.35 %
PC - Polycarbonat	0.12 - 0.315 %

Vissa material, exempelvis nylon, har vid jämvikt en högre fukthalt och kommer därmed vara mer utmanande att hålla fria från fukt vid utskrift. Detta överensstämmer med materialets relativt höga hygroskopi i tabell 1 vid jämförelse med de andra materialen. (Wang, Yang, Chen, & Yang, 2023; MatWeb, n.d.)

2.1.4 Uppvärmningens påverkan i 3D utskrift

För att effektivt hantera problemet med fukt i filamentet för 3D-utskrift är det vanligt att höja temperaturen i den omgivande luften runt filamentet. Genom att öka lufttemperaturen ökar luftens förmåga att bära vattenånga, vilket i sin tur driver på processen för att avfukta materialet.

Processen för detta startar med filament som har absorberat en viss mängd fukt från omgivande luft. Sedan appliceras värme för att lätta på de molekylära bindningarna som skapats mellan vattnet och polymerkedjorna i materialet. Nu börjar vattenmolekylerna (H₂O) att röra sig fritt inom filamentmaterialet. Därefter absorberas fukten av omgivande luft som med hjälp av uppvärmningen har fått ett lägre fuktinnehåll än filamentmaterialet. Sedan flödar den fuktiga luften bort från filamentet och resultatet blir ett material med lägre fukthalt. I tabell 2 visas exempel på vilka temperaturer som krävs för att avlägsna fukten inifrån materialet.

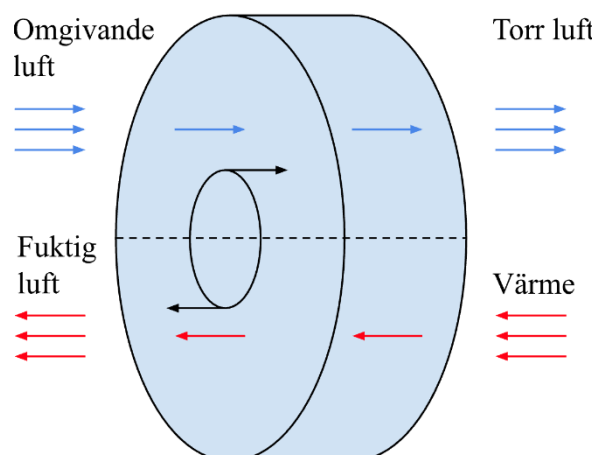
Tabell 2, *Temperaturer och torktider filament.*

Material	Temperatur [°C]	Torktid [Timm]ar
PLA (Polyaktid)	40-50	4-6
ABS - akrylonitrilbutadienstyren	65-75	4-6
Nylon (Nylon 6)	75-90	6-10
PETG (Polyetylen tereftalat med glykol)	55	4-6
TPUR (Termoplastisk polyuretan)	40-45	4-5
ASA - akrylonitilstyrenakrylat	80-85	4-6
PC - Polycarbonat	80-90	7-10

(BCN3D, 2021; Formlabs, n.d.; Statista, 2023)

Det finns även lösningar som bygger på absorberande fukt med exempelvis fuktpåsar fyllda med kiselgel. Dessa är desiccanta processer som bygger på att avlägsna fukten utan tillförd värme eller flödande luft och får materialet i fuktpåsen att absorbera fukten via molekylärt utbyte där påsen förlorar verkningsgrad ju mer fukt den absorberar. Här kan den antingen bytas ut eller torkas med hjälp av ett cirkulärt desiccant system.

Exempel på dessicanta system som cirkulerar absorptionsmaterialet och inte kräver något utbyte av fuktpåsar eller liknande är den patenterade Munters desiccantrotor. Den går ut på att omgivande luft får passera genom ett desiccant filter som suger upp fukten i luften medan hjulet hela tiden roterar. På andra sidan finns ett värmeelement och en motriktad luftström som återaktiverar dessicanten i filtret. Se figur 2. (Munters Europe AB, 2022)



Figur 2. *Principiell verkan, desiccantrotor.*

Andra kommersiella metoder etablerade för torkning av luft är värmepumpsystem som arbetar genom kompressorer, värmare, kylrör och en behållare. Här startar processen genom att en kompressor samlar luft från omgivande atmosfär och komprimerar den. Sedan passerar den komprimerade luften kylrören som attraherar fukt från omgivande luft med hjälp av kondensation och kyla från kylrören. Därefter värms luften återigen upp med hjälp av en värmare och släpps tillbaka ut i rummet och atmosfären. Uppsamlat vatten rinner längs kylrören och samlas i behållare som behöver tömmas, alternativt kan denna ersättas med en slang kopplat till ett avlopp. (Grabianowski, 2024)

2.1.5 Övervakning av filament

Vid övervakning av filament finns det en mängd olika parametrar att tänka på. Alla viktiga för att undvika eventuella utskriftsfel. Ett förvaringssystem hade därför varit en väsentlig del i det här steget. Det är hela tiden viktigt för processen att veta att skrivaren har filament tillgängligt för att inte skriva tomt. Detta kan lösas med en form av en våg eller sensor, sensorn skulle då kommunicera med skrivaren för att stoppa processen eller varna operatören i förväg för att åtgärda problemet. Att hålla koll på att trassel inte förekommer hade kunnat lösas genom att på ett kontrollerat sätt frånskilja änden av filamentrullen och resterande rullen. Detta är mer av ett användarfel då alla rullar som inte har någon form av fabriksfel är systematiskt rullade för att motverka den här typen av problem. Däremot om ett förvaringssystem skall kunna hålla en filamentrulle i bruk kan man på ett systematiskt sätt förvara änden av rullen frånskilt från resterande.

Beroende på materialet skall även värmen och fuktigheten kunna övervakas inför utskrift. Det är här förvaringssystemet kommer att spela störst roll inom det här projektet. Att hålla filamentet torrt är en väsentlig del för att hålla det funktionsdugligt tills rullen tar slut. Det finns flera olika tillvägagångssätt för att beskriva klimatet i en förvaringslåda till filament. Den dominerande funktionen på marknadens produkter är att använda sensorer som kan informera användaren.

2.2 Informationssökning filament

2.2.1 Befintlig marknad

Enligt T. Bengtsson (personlig kommunikation, 17 juni 2024), VD för Zyyx 3D, finns det flera tillgängliga lösningar för att hålla filamentet i ett funktionsdugligt skick under längre tidsperioder. Zyyx 3D erbjuder exempelvis förvaringslådan *PolyBox*, utvecklad av Polymaker, vilken bevarar filamentrullarna i en torr miljö med hjälp av kiselpåsar. På Zyyx 3D modifierar man dessa lådor för att förbättra kompatibiliteten med företagets egna 3D-skrivare. *PolyBox* har dock en begränsning eftersom den inte aktivt torkar filamentet, utan enbart förhindrar ytterligare fuktinträngning genom att skapa en torr miljö.

En annan produkt som används av Zyyx 3D är *SunLu S2 Filament Dryer 360°*, en förvaringslåda som aktivt torkar filamentet genom uppvärmning och fukt borttagning. En fördel med denna modell är att den värmer hela filamentrullen, vilket ger en jämn värme fördelning i hela förvaringsutrymmet, till skillnad från modeller med enbart en värmeplatta i botten. Dessutom är enheten utrustad med en display som visar temperatur, luftfuktighet och driftstid. Filamentet kan användas direkt från lådan under förvaring, vilket bidrar till att hålla det torrt under användning. En nackdel med *SunLus* filamenttork är dock att avsaknaden av fläktar begränsar luftcirkulationen och därmed förmågan att effektivt avlägsna fukt. Modellen har även en begränsad storlek som endast rymmer filamentrullar på upp till ett kilogram, och den inbyggda fuktmätaren har svårigheter att mäta luftfuktighet under 10 %.

Ett annat torkningssystem som testats av Zyyx 3D är *eBOX* från företaget eSUN. Likt *SunLus* produkt använder *eBOX* värme för att torka filamentet, men den har endast en värmeplatta placerad i botten av lådan. För att cirkulera värmen finns en monterad fläkt. Fläktens effektivitet är dock begränsad, vilket gör att den önskade temperaturen är svår att uppnå. *eBOX* är även utrustad med en inbyggd våg för att visa hur mycket filament som återstår. Då locket på lådan redan är transparent, ifrågasätts emellertid nyttan med vågen, särskilt eftersom lådan saknar kommunikationsmöjligheter med 3D-skrivaren.

Zyyx 3D har även testat *Wanhao Box 2*, en låda med en display som visar både temperatur och vikt samt en invändig isolering, då lådan är gjord av metall. Trots dessa funktioner visade testerna att produkten inte presterade väl; värmen genererades endast underifrån, nära termometern, vilket gav en visad temperatur på 70 °C, medan en extern termometer uppmätte en intern temperatur som aldrig översteg 46 °C. Vågen visade samma vikt oberoende av innehållet, vilket gjorde att displayens funktioner inte fungerade som menat. (Zyyx 3D, 2024).

2.2.2 Värme och torkning

En vanlig lösning för att hålla en mängd olika produkter torra är att använda sig av kiselpåsar. Dessa är användbara då de absorberar vattenånga från luften molekylärt. Kiselgel har miljontals små porer som likt en svamp suger åt sig fukten och kan bära upp till 40% av gelets vikt i vatten. Dessa påsar kan även återanvändas genom att värma upp dem till ungefär 150 grader celsius, vilket även gör dem till ett hållbart alternativ. Problemet som kiselpåsarna möter i en typ av förvaringssystem för filament är att de som tidigare nämnts inte aktivt torkar miljön. (HowStuffWorks, 2024)

Ett annat sätt att få bort fukt är genom värme. En bra beskrivning av detta används i torkskåp för kläder där det finns en mängd olika lösningar som aktivt torkar. Den vanligaste metoden som används här är med frånluft där varmluft tillförs och plockar med sig fukt för att sedan ledas ut genom ett hål från systemet, men det finns även torkskåp som använder sig av kondenssystem. Här cirkulerar luften i skåpet och vattnet samlas i en kondensbehållare i botten som sedan kan tömmas genom ett avlopp eller manuellt. Det som de olika systemen har gemensamt är att de använder sig av varmluft som är bättre än kall luft på att bära vatten, en princip som återfinns överallt, allt ifrån regnmoln till hårtorkar och matlagning. (Elvita, 2020)

2.2.3 Fläktanalys

För att säkerställa ett homogent klimat för luften som cirkulerar kring filamentet och för att transportera luft genom systemet anses en eller flera fläktar vara nödvändiga. Det finns viktiga samband mellan fläktens area, varvtal, mängden cirkulerande luft, lufttrycket och ljudnivå som kommer att vara relevant för projektet. Projektet strävar efter fläkt med liten ljudvolym som samtidigt har en hög mängd cirkulerande luft, låg strömförbrukning och smidig geometri. Olika typer av fläktar följer på nästa sida.

Centrifugalfläkt (Radial)

I en centrifugalfläkt flödar luften i en radiell riktning i jämförelse med fläktbladens axel. Olika klassificeringar på centrifugalfläktar beror på dess utformning av fläktbladen där F-blad är framåtböjda raka fläktblad, medelhög effektivitet, hög effektivitet vid små dimensioner där trycket in har liten påverkan på trycket ut. B-blad är bakåtböjda raka fläktblad, hög effektivitet, låg energiförbrukning, trycket in har liten påverkan på mängden cirkulerande luft (Volym), låg ljudnivå och hög stabilitet i parallellt körtillstånd. P-blad är rakt bakåtböjda fläktblad, hög effektivitet, självvregörande, trycket in har liten påverkan på mängden cirkulerande luft (Volym). T-blad är raka eller kurvade radiella blad. Självvregörande, lämpliga för materialförflyttning. Aerofoil-blad har 9-16 blad med aerofoil-kontur kurvade bort från rotationsriktningen. Hög effektivitet, dyr.

Axialfläkt (Propellerfläkt)

Axialfläktar eller propellerfläktar är lämpliga för ett tryck på upp till 300 N/m² och har följande utföranden: C-blad som har justerbara blad under drift, hög effektivitet små dimensioner, variabelt luftflöde (volym), A-blad med justerbara blad utanför drift, hög effektivitet, små dimensioner, anpassningsbar till volymflödet samt K-blad med icke justerbara blad, detta för minskad komplexitet, en billigare lösning vid små dimensioner.

Blandflödesfläktar

I blandflödesfläktar flödar luften både axiellt och radiellt relativt fläktbladens axel, dessa har högre effektivitet än axialfläktar.

Korsflödesfläktar

I korsflödes fläktar flödar luften axiellt in och radiellt ut. (We Sell Fans, n.d.)

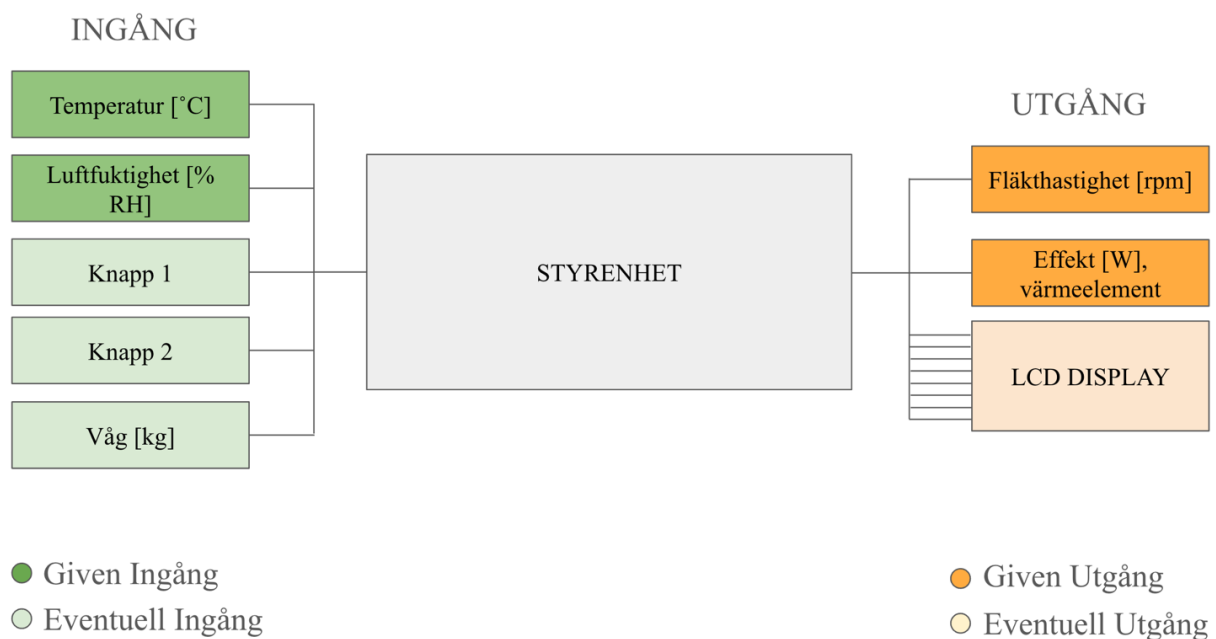
2.2.4 Systemintegration

För att kunna styra olika in- och utgångar på olika delar av systemet behövs en form av styrenhet som reglerar utgångens ström eller signaler efter ingångars strömmar och signaler. Ett exempel på hur detta skulle kunna se ut schematiskt visas i figur 3.

Projektet förväntas hantera både digitala och analoga in och utgångar vilka listas i tabell 3 och tabell 4.

För att styra systemet hade en knappsats med 2 knappar kunnat användas där en knapp reglerar mellan olika menyer, till exempel: Temperatur och RH och den andra knappen fungerar som en justeringsknapp som ställer in ett värde.

Hela systemet hade kunnat styras via en styrenhet som exempelvis Arduino, Raspberry pi eller någon liknande programmerbar mikrokontroller.



Figur 3. Systemintegration.

Tabell 3, *Systemingångar*.

Ingång	Enhet	Typ av utgång	Förväntat Intervall
Temperatur	°C	Analog	10-100
Luftfuktighet	% RH (Relative Humidity)	Analog	10-100
Våg (Eventuell)	g	Analog	10-3000
Knapp 1 (menu)	+/- signal	Digital	+/-
Knapp 2 (+/-)	+/- signal	Digital	+/-

Tabell 4, *Systemutgångar*.

Utgång	Enhet	Typ av utgång	Förväntat Intervall
Fläkthastighet	rpm	Digital	+/-
Effekt, Värmeelement	Watt	Digital	+/-
Display (8 utgångar)	% RH (Relative Humidity)	Digital	+/-

För ovanstående exempel krävs en styrenhet med 11 digitala utgångar, 2 digitala ingångar och 3 analoga ingångar.

2.3 Marknadsundersökning

En ytterligare marknadsundersökning utöver studerandet av befintlig marknad ansågs nödvändig inom projektet eftersom det fanns ett tydligt mål med att identifiera viktiga funktioner som bör implementeras i produkten samt för att förstå djupet och bredden på marknaden. Projektet vände sig därför till fem diversifierade kunder utvalda från Zyyx 3D och utbytte ett intervjuformulär med dessa.

Intervjuerna syftade till att skapa en uppfattning av vad för typ av företag eller privatperson kunden var, vilka behov av filament de hade i dagsläget, hur de förvarade sitt filament i dagsläget samt om de hade några särskilda behov eller önskningar på en produkt. Kundintervjuerna finns bifogade i Bilaga 1.

2.4 Preliminär kravspecifikation

Med hjälp av informationssökningen, företagskontakt, marknadsundersökning och teoretisk bakgrund kunde en preliminär kravspecifikation upprättas. Kravspecifikationen delar upp funktionerna i huvudfunktioner samt delfunktioner och listar olika funktioner som ett krav (K) eller önskemål (Ö). Detta ihop med verifieringsmetod och referens (kravställare) ger projektet en tydlig bild på vad som förväntas av lösningen samt vad som står i fokus och inte. Projektet får också reda på vem som är kravställaren vilket kan underlätta uppföljningen och utvärderingen av lösningen samt att den listade verifieringsmetoden möjliggör faktiska tester efter utveckling som kan påvisa ifall kravet eller önskemålet har mötts eller ej. Prototypen som tillverkas inom projektet bortser från vissa önskemål och i vissa fall även krav då dessa inte går att verifiera, istället läggs huvudfunktionerna i fokus för att verifiera om lösningen går att tillämpa för den här typen av uppgift. Den fullständiga kravspecifikationen finns tillgänglig som Bilaga 2.

3. Metodik

Här presenteras en utvecklad beskrivning av den metodik som använts i projektet, med särskilt fokus på att tydliggöra hur varje metod har implementerats och anpassats för att möta projektets behov.

3.1 Funktionsanalys

Funktionsanalysen genomfördes som ett första steg i produktutvecklingsprocessen och syftade till att identifiera och strukturera produktens nödvändiga och stödjande funktioner. Metoden användes för att skapa en systematisk översikt av vilka funktioner produkten måste innehålla för att uppfylla kraven i specifikationen. Genom att analysera och bryta ner produkten i huvud- och delfunktioner kunde projektgruppen säkerställa att ingen kritisk aspekt förbises.

I detta projekt inleddes funktionsanalysen med att alla krav från kravspecifikationen granskades och organiserades i kategorier baserat på deras funktionella syfte. Detta resulterade i skapandet av ett funktionsträd, där huvudfunktionerna – exempelvis temperaturreglering och avancerad avfuktningsteknik – visualiserades högst upp, medan delfunktioner som modularitet, reglage och mätare placerades som stödjande funktioner. Funktionsträdet användes som en bas för konceptgenereringen och säkerställde att varje del av produkten kunde kopplas till en tydlig funktion.

3.2 Generering och hantering av koncept

Generering och hantering av koncept utgjorde en central del av produktutvecklingen i projektet. Processen inleddes med brainstorming, där idéer för lösningar på produktens olika funktioner genererades. Brainstormingen syftade till att skapa en omfattande lista av potentiella lösningar utan att i detta skede utvärdera dem, för att maximera kreativiteten och utforska flera olika idéer. Efter brainstormingfasen implementerades det digitala verktyget Morpheus, som utvecklats av Julian Martinsson Bonde (2021). Detta verktyg möjliggjorde en strukturerad hantering av de genererade koncepten. I Morpheus listas olika delfunktioner i rader och möjliga lösningar på dessa funktioner i kolumner. Verktygets styrka ligger i dess förmåga att hantera komplexa kombinationer av idéer och automatiskt identifiera alla möjliga konceptlösningar. Dessutom kan inkompatibla lösningar blockeras genom att specificera regler i programmet, till exempel om två delfunktioner inte kan kombineras på grund av en omöjlighet.

I projektet definierades ett antal sådana blockader för att säkerställa att endast tekniskt och funktionellt kompatibla lösningar genererades. När sekvensen startades genererade Morpheus totalt 705 möjliga konceptlösningar. Dessa exporterades till ett kalkylprogram för vidare manuell hantering och reducerades till 600 genom en inledande sällning. Därefter genomgick koncepten en flerstegsutvärdering med hjälp av tre beslutsmatriser:

1. **Elimineringsmatrisen** användes för att utesluta koncept som inte uppfyllde de grundläggande kraven i kravspecifikationen.
2. **Pugh-matrisen** (relativ beslutsmatris) applicerades för att jämföra lösningarna och eliminera ytterligare koncept baserat på viktade kriterier som kostnad, användarvänlighet och teknisk genomförbarhet.
3. **Kesselringmatrisen** användes i det sista steget för att rangordna de återstående koncepten och välja ut de tre mest lovande för vidareutveckling.

Denna strukturerade metodik säkerställde att alla potentiella lösningar systematiskt identifierades, utvärderades och prioriterades, vilket minimerade risken för att missa lovande koncept.

3.3 Vidareutveckling av koncept

Vidareutvecklingen av det utvalda konceptet inleddes med en detaljerad analys av de tekniska och funktionella kraven. Genom att skapa ritningar, systemkartor och tekniska beräkningar kunde projektgruppen optimera designen och säkerställa att konceptet var tekniskt och resursmässigt genomförbart. Tester och simuleringar användes som stöd i detta steg för att verifiera att komponentval och dimensionering mötte kravspecifikationen. Exempelvis gjordes termiska analyser för att beräkna den nödvändiga effekten för PTC-värmarna, och desiccantrotorns geometri anpassades för att garantera att avfuktningseffektiviteten skulle göra utslag på de tester som hade planerats.

3.4 Modelleri ng i 3D-miljö

För att möjliggöra en kostnadseffektiv och snabb iterering av designen användes 3D-modelleri ng som ett viktigt verktyg. Med hjälp av programvaran CATIA V5 (Dassault Systèmes, 2023), skapades en digital modell av produkten som tillät gruppen att visualisera och analysera dess fysiska utformning. Modellen möjliggjorde snabba justeringar av dimensioner och designfunktioner, vilket säkerställde att komponenterna passade ihop och att produkten kunde tillverkas på ett skalbart sätt. Den digitala modellen användes även som en referens vid vidareutveckling av prototypen och gav företaget en tydlig bild av hur slutprodukten skulle se ut.

3.5 Modellering av Prototyp

En fysisk funktionsduglig prototyp tillverkades som en del av projektet. Syftet med prototypen var att testa och demonstrera produktens funktionalitet under realistiska förhållanden. Materialval och konstruktion anpassades för att hålla kostnaderna nere och möjliggöra snabba justeringar. Exempelvis användes plåt som huvudsakligt material och ett återanvänt nätaggregat som strömförsörjning. Prototypens design byggde på den digitala modellen och inkluderade alla nödvändiga funktioner, såsom PTC-värmare, desiccantrotor och kontrollsystem. Vissa estetiska aspekter, såsom plexiglasdetaljer, uteslöts för att förenkla tillverkningen och för att dessa detaljer inte ansågs bidra till påvisandet av prototypens funktion.

3.6 Funktionstest

Funktionstester spelade en central roll i att verifiera prototypens prestanda och säkerställa att den mötte kravspecifikationen. Testerna fokuserade på nyckelfunktionerna, såsom temperaturreglering och avfuktning, samt deras interaktion med andra funktioner som exempelvis mätare. Testerna genomfördes under kontrollerade förhållanden och inkluderade flera scenarier för att simulera verkliga användarförhållanden. Exempelvis testades systemets förmåga att sänka luftfuktigheten i kammaren under olika förutsättningar, med och utan desiccantrotor. Data från testerna loggades och analyserades noggrant för att identifiera eventuella avvikelser och förbättringsområden.

3.7 Verifiering av kravspecifikation och frågeställningar

Verifieringen av kravspecifikationen och frågeställningarna utgjorde det sista steget i projektet. Genom att jämföra testresultaten med de definierade kraven kunde projektgruppen bekräfta att produkten uppfyllde sina mål. Exempelvis verifierades att PTC-värmarna kunde generera tillräcklig värme för att upprätthålla den önskade temperaturen, och att desiccantrotorns effektivitet uppfyllde kravet på snabb avfuktning. Denna verifieringsprocess inkluderade också en reflektion över de ursprungliga frågeställningarna, såsom vilka funktioner som är mest kritiska för att skapa en effektiv filamenttork. Insikter från projektet användes för att ge rekommendationer för framtida förbättringar och vidareutveckling.

4. Resultat

4.1 Funktionsanalys

Efter en grundlig analys av kravspecifikationen kunde flera funktioner identifieras som centrala för att säkerställa produktens funktionalitet. Huvudfunktionerna, temperaturreglering och aktiv avfuktningsteknik, utgör kärnan i systemet och adresserar de primära behov som formulerats i projektets krav. Vid sidan av dessa identifierades flera delfunktioner, som modularitet, trådmatning, reglage och mätare, vilka bidrar till produktens användarvänlighet.

Temperaturreglering

Den centrala funktionen temperaturreglering är avgörande för att skapa och upprätthålla rätt temperatur för filamentet. Funktionen är inte bara nödvändig för att förvärma filamentet inför utskrift, vilket homogeniserar plasten och säkerställer högre precision och stabilitet i slutprodukten, utan också för att bidra till en effektiv torkning av filamentet. Den termiska energin hjälper till att driva ut fukt ur filamentet, en process som optimeras genom att den omgivande luften värms upp. För att säkerställa jämn värmespridning i filamentkammaren använder systemet en PTC-värmare, som kombinerar säkerhet och energieffektivitet. Dessutom regleras temperaturen dynamiskt av en mikrokontroller, vilket möjliggör realtidsanpassningar och minimerar risken för överhettning. Jämfört med befintliga lösningar på marknaden representerar denna funktion ett viktigt framsteg i att kombinera effektivitet och säkerhet.

Aktiv avfuktningsteknik

Den aktiva avfuktningstekniken bidrar ytterligare till att bibehålla filamentets kvalitet genom att aktivt avlägsna fukt från omgivande luft. Till skillnad från enklare lösningar, som enbart förlitar sig på passiva metoder som kiselgelpåsar, används här en desiccantrotor. Rotorn är konstruerad för att kontinuerligt torka luften genom att absorbera fukt i en vald sektor från tvärsnittet och regenerera desiccantmaterialet på den resterande ytan av tvärsnittet genom en separat luftström som värms upp av en PTC-värmare.

Modularitet

Modularitet är en viktig delfunktion som möjliggör flexibilitet och anpassning för olika användningsscenarier. Genom att inkludera fasta fack som rymmer olika kombinationer av filamentrullar, såsom två rullar om 3 kg eller fyra rullar om 1 kg, uppfyller produkten både krav på skalbarhet och praktisk användning. Den fasta designen minimerar komplexitet och tillverkningskostnader, samtidigt som den säkerställer att olika filamentstorlekar kan hanteras effektivt. Modulariteten har dessutom optimerats för att ge användaren enkel åtkomst vid byte av rullar, vilket ytterligare förbättrar produktens användarvänlighet.

Trådmatning

Trådmatning är en önskvärd funktion som åtgärdar problem kopplade till filamenttrassel och knutbildning, särskilt vid användning av rullar med undermålig lindning. Lösningen är semiautomatisk och använder fördragna slangar av lågfrikionsmaterial för att säkerställa att filamentet leds smidigt utan att skadas. Denna konstruktion är särskilt viktig för att undvika mekaniska defekter i filamentet som annars kan leda till utskriftsfel. Genom att minska användarens arbetsbelastning och minimera risken för driftavbrott förbättrar funktionen det övergripande användarvärdet.

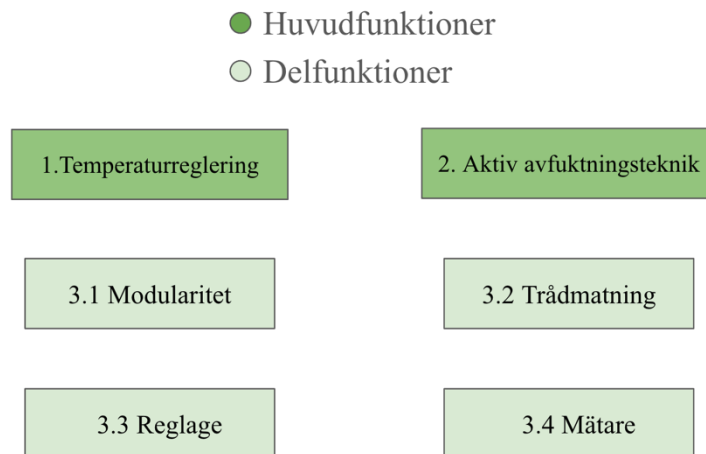
Reglage

För att möjliggöra styrning och övervakning av systemet har reglage integrerats som en central delfunktion. Reglagen består av digitala knappar som är kopplade till en mikrokontroller, vilket gör det möjligt för användaren att välja mellan olika lägen. I mätläget kan användaren övervaka temperaturen och luftfuktigheten i realtid, medan målvärdesläget gör det möjligt att ställa in specifika parametrar. Detta system förbättrar inte bara användarupplevelsen utan bidrar även till hög precision i driften.

Mätare

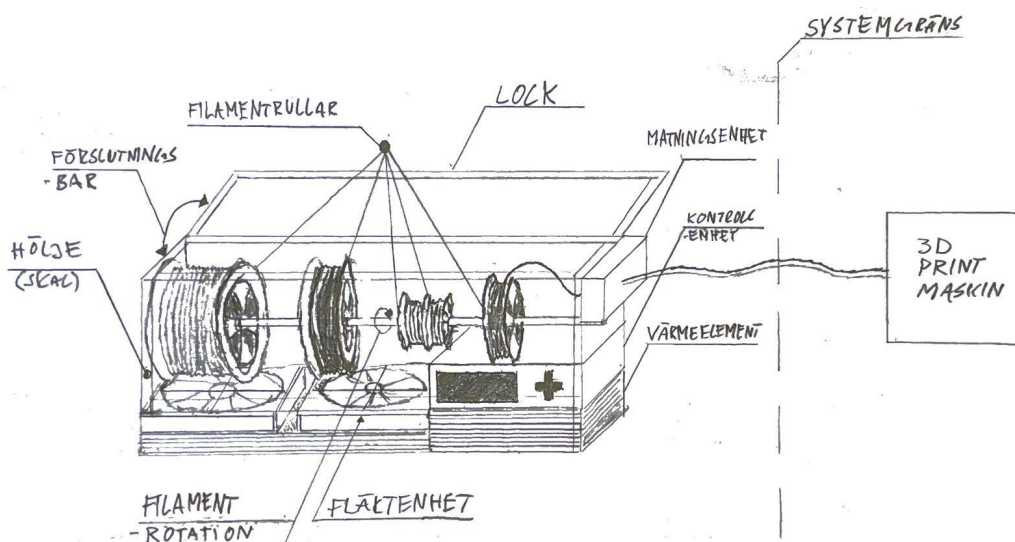
Mätare spelar en avgörande roll i systemet, inte bara för att ge användaren realtidsinformation om temperatur och luftfuktighet, utan också för att säkerställa hög precision i styrningen av systemets funktioner. De är kopplade till sensorer med hög noggrannhet och fungerar som en integrerad del av styrningslogiken. Genom att leverera noggranna mätvärden möjliggör mätarna en snabb och korrekt respons från systemets reglerkretsar, vilket förbättrar både temperaturreglering och avfuktningseffektivitet. Ju högre noggrannhet i mätarna, desto mer exakt kan systemet styra sina funktioner, vilket i slutändan resulterar i förbättrad energieffektivitet och konsekvent prestanda. Mätarnas roll i att koppla samman övervakning och styrning gör dem till en kritisk komponent i systemets design.

Samtliga funktioner har utvecklats med både användarens och produktens prestanda i åtanke. Funktionsanalysen visar tydligt att produkten inte bara är tekniskt avancerad utan också väl anpassad för praktisk användning. Kombinationen av aktiv temperaturreglering, innovativ torkfunktion, flexibel modularitet och användarvänliga reglage gör produkten konkurrenskraftig på marknaden för filamenttorkare. Genom att integrera vetenskapligt beprövade teknologier och testresultat från prototypstadiet kan funktionerna säkerställas som robusta och effektiva lösningar för moderna 3D-skrivareanvändare. Samtliga funktioner listas också i ett funktionsträd, se figur 4.



Figur 4. Funktionsträd.

Detta funktionsträd i kombination med de tidiga preliminära skisser, se figur 5, som projektets författare skapade inför projektet skapar en tydlig grund inför konceptgenereringen.



Figur 5. Tidig preliminär skiss .

4.2 Generering och Utvärdering av koncept

Efter den kreativa idégenereringsprocessen kunde listade lösningsförslag på delfunktioner överföras till det digitala verktyget Morpheus, här framkom en konceptstruktur som är synlig i tabell 5.

4.2.1 Konceptgenerering i Morpheus

Tabell 5, *Konceptstruktur Morpheus.*

Funktion	Lösningförslag				
1.0 Temperatur-reglering	Hårtorks-funktion (Resistanstråd, fläkt)	Värmeväxlare med vatten	Värmeplatta		
2.0 Aktiv avfuktningsteknik	Desiccant-rotor	Kompressor/Kondensor	Torkpåsar utan rotor	Elektrolys	Vakuüm
3.1. Modularitet	Glidskarvar	Interna väggar	Dragspelsfunktion	Flyttbara värmeplattor	Fast form för stor och liten rulle
3.2. Trådmatning	Ingen intern matning	Semi Automatisk matning	Helautomatisk matning		
3.3. Reglage	Mekaniska reglage	Digitala knappar	Touchskärm		
3.4. Mätare	Display med elkrets	Analog mätare			

Därefter ansattes diverse inkompatibiliteter för att hindra dessa koncept från att kombineras. Exempelvis ansågs funktionen glidskarvar vara inkompatibel med funktionen vakuüm på grund av att glidskarvarna inte anses kunna sluta tätt och hålla det undertryck som vakuüm innebär. Övriga Inkompatibiliteter listas i tabell 6.

Tabell 6, *Inkompatibla funktioner.*

#	Funktion 1	Funktion 2	Anledning (Inkompatibla på grund av...)
I1	Elektrolys	Glidskarvar	- Glidskarvar kommer att släppa igenom luft genom systemgränsen
I2	Touchskärm	Analog Mätare	- På grund av touchskärmens mångsidighet behövs i detta fall inga analoga mätare.
I3	Värmeväxlare med vatten	flyttbara värmeplattor	- Två helt olika värmesystem som försämrar varandra
I4	Glidskarvar	Helautomatisk matning	- De glidande skarvarna anses bli komplexa att anpassa med en helautomatisk matning och dess fördragna slangar, fästen och matningselement.
I5	Dragspelsfunktion	Helautomatisk matning	- En dragspelsfunktion på behållarens ytterväggar anses bli komplexa att anpassa med en helautomatisk matning och dess fördragna slangar, fästen och matningselement.
I6	Dragspelsfunktion	Vakuum	- Dragspelsfunktionen kommer att komprimeras under vakuum.
I7	Glidskarvar	Vakuum	- Glidskarvarna anses inte kunna sluta tätt och hålla ett undertryck (vakuum)
I8	Flyttbara värmeplattor	Hårtorksfunktion.	- Två olika tillvägagångssätt som är väldigt lika
I9	Torkpåsar utan rotor	Glidskarvar	- Torkpåsarna fungerar bäst i tillförslutna miljöer

Med hänsyn till inkompatibilitet kunde 705 lösningar genereras. Däremot anses vissa funktioner vara komplicerade och i vissa fall med hänsyn till projektets resurser omöjliga. Vakuum i det här fallet skulle behöva innebära en helt tät låda och höga materialkrav samt effektiv vakuumpump vilket även skulle leda till hög strömförbrukning. Därför togs detta alternativ bort vilket sållade antalet lösningar i Morpheus till 600. Touchskärmen togs även den bort då det hade involverat mycket programmerade, som anses tidsmässigt resurskrävande, och då det främst är funktionen som skall tas fram anses inte detta vara en nödvändighet, särskilt i prototypstadiet. Dessutom gjordes ett avgörande val att stänga lösningsförslagen för mekaniskt reglage samt analoga mätare på grund av att det ansågs finnas en betydande vinning i ett digitalt reglersystem som anpassar sig efter information i realtid och dessutom möjliggör för projektet att möta kravet om aktiv avfuktningsteknik. Torkpåsar utan rotor går direkt emot ett av kraven

från Zyyx 3D då de eftersträvar en lösning med aktiv avfuktningsteknik och inte enbart en låda med torkpåsar. Helautomatisk matning är en funktion som Zyyx 3D hade som önskemål men ur projektets synpunkt kommer detta komplicera produkten avsevärt mycket i relation till hur mycket funktionen potentiellt hade tillfört.

4.2.2 Elemineringsmatris

Efter generering av koncept och sällning bland dessa kunde en elimineringsmatris upprättas med syfte att eliminera en del av de 48 lösningarna som kom fram ur genereringen. I detta steg ställdes alla kvarvarande lösningar emot kraven i kravspecifikationen. Elemineringsmatrisen fällde bland annat alla lösningar innefattande elektrolys, 16 lösningar, eftersom de inte mötte krav 1.2, krav om minst 70°C på den omgivande luften. Kravet möttes inte eftersom leverantören av elektrolyschipen endast klarar 50°C på sina produkter.

En förkortad version av elemineringsmatrisen visas i tabell 7 nedan. Fullständig version finns tillgänglig som Bilaga 3.

Tabell 7, *Elemineringsmatris, 1-16.*

#	Kravuppfyllelse								
	Krav 0.1	Krav 0.3	Krav 1.1	Krav 1.2	Krav 1.4	Krav 3.1	Krav 3.2	Krav 6.1	Krav 8.1
Lösning 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lösning 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	☐
Lösning 3	✓	✓	✓	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lösning 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lösning 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	☐
Lösning 6	✓	✓	✓	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lösning 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lösning 8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	☐
Lösning 9	✓	✓	✓	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lösning 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lösning 11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	☐
Lösning 12	✓	✓	✓	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lösning 13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lösning 14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	☐
Lösning 15	✓	✓	✓	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lösning 16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4.2.3 Pugh-Matris

För att evaluera de kvarvarande lösningarna efter elimineringsmatrisen genomfördes en pugh-matris där en av lösningarna valdes som referens och de övriga viktades mot denna referens. Betyget noll betyder att lösningen väger lika med referensen, betyget minus betyder att lösningen väger mindre än referensen och betyget plus betyder att lösningen väger mer än referensen. Efter tre iterationer fanns en tydlig trend som visade att Lösning fyra, tretton och sexton var överlägsna. Pugh-matrisen i samtliga iterationer finns tillgänglig som Bilaga 4.

4.2.4 Kesselringmatris

Därefter upprättades en kesselringmatris där parvisa jämförelser gjordes för att ta reda på vilka önskemål som vägde tyngst, se tabell 8. Här användes betygen 0, 0.5 och 1 där 0 betyder att önskemålet väger mindre än det motsvarande, 0,5 betyder att de väger samma och 1 betyder att det väger mer än det motsvarande. Exempelvis jämförs önskemålet 0.2, *Filamentvakt*. Med önskemål 4.3, *Användarvänlig* där bedömningen görs att 4.2 är ett viktigare önskemål och således får 0.2 betyget 0 i jämförelse med 4.2.

Sedan betygsattes också de olika lösningarna utefter betygsskalan 1–5 på de olika önskemålen i syfte om att uppnå ett W-värde som i kesselringmatrisen är lika med lösningsbetyget för ett visst kriterium multiplicerat med kriteriets vikt. På grund av resursmässiga skäl och svårigheter med att mäta eller förutspå de olika lösningarnas prestation i vissa kriterier som exempelvis filamentvakt, lades inget betyg på det kriteriet.

Efter kesselringmatrisen var lösning 13 den högst presterande lösningen och det är den enda lösningen som tas med i vidareutvecklingen.

Tabell 8, *Parvisa Jämförelser*.

Nummer och titel		Jämförelser														Betyg	
#	Önskemål	0.2	1.4	1.5	1.6	2.1	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.2	7.1	8.1	Summa	Rel. Summa	
0.2	Filamentvakt	-	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,01	
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	1	-	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
1.5	Jämn temperatur	1	0,5	-	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
1.6	Upplösning mätfunktion	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	11,5	0,15	
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	0,5	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,01	
4.1	Byte av rulle	1	0,5	0,5	0	1	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
4.2	Matning av tråd	1	0,5	0,5	0	1	0,5	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
4.3	Användarvänlig	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	-	0,5	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
5.1	Skydd mot brännskada	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	-	0,5	0,5	0	0,5	6	0,08	
5.2	Skydd mot elektriska stötar	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0,5	0	0,5	6	0,08	
6.2	Strömförbrukning	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0	0,5	6	0,08	
7.1	Designspråk	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	-	1	11,5	0,15	
8.1	Strukturellt material	1	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	-	6	0,08	

Den fullständiga kesselringmatrisen tillsammans med betygsskalor finns tillgänglig i Bilaga 4.

4.3 Vidareutveckling

Projektet väljer att gå vidare med lösning 13 som innefattar följande delfunktioner enligt tabell 9.

Tabell 9, *Lösning 13*.

Värmereglering	Torkfunktion	Modularitet	Trådmatning	Reglering	Mätning
Hårtorksfunction (Resistanstråd, fläkt)	Dessicant rotor	Fast volym med olika fack	Semiautomatisk matning	Digitala knappar	Display med elkrets

4.3.1 Specificering av komponenter

4.3.1.1 Värmeelement

Till värmeregleringen har det genom koncepthanteringen framkommit att ett värmesystem likt en hårtork där resistanstråd och fläkt används anses mest lämpligt för projektet. Valt värmeelement i fallet för projektet är PTC-värmare som även kallas för PTC-fläktar eller PTC-heater som står för "Positive temperature coefficient heater". Denna är tänkt att placeras intill en fläkt som sprider värmen runt om i filamentkammaren. En klar fördel med PTC-värmare är att de inte överhettas eftersom att de har en inbyggd säkerhetsfunktion för detta.

4.3.1.2 Torkfunktion

Torkfunktionen har bestämts till en desiccantrotor som kommer att torka filamentet utöver den torkning som åstadkoms av värmen. Denna rotor kommer att cirkulera kiselmedium som på ena sidan torkar luft och suger åt sig fukt samt på andra sidan värms upp och släpper ut fukt. För värmesidan kommer rotorn att behöva en separat luftström som värms till tillräcklig temperatur. Denna luftström kommer att tas ifrån atmosfären för att inte blandas med filamentkammarens luft.

4.3.1.3 Modularitet

Modulariteten på lösningen fungerar som en fast sluten volym med olika fack. Detta innebär att det inte kommer att gå att ändra volymen på lådan men att det ändå kommer finnas olika platser för olika storlekar på filament rullar och att det på detta sätt kommer gå att kombinera storlekar och antal. På uppdrag från företaget har det beslutats att en lösning som tillåter 2 st. 3 kg filament rullar [210 mm], 4 st. 1 kg filament rullar [320 mm], eller 1 st. 3 kg och 3 st. 1 kg filament rullar [345 mm] anses vara tillräckligt heltäckande.

4.3.1.4 Trådmatning

Trådmatningen bestäms bli semiautomatisk och detta kommer möjliggöra enklare matning av tråden till skrivaren. Här planeras fördragen slang av plast att installeras för att användaren enkelt kan leda tråden till röret och mata den med hjälp av att manuellt snurra på filamentrullen, därav semiautomatisk matning. Filamentrullarna kan fritt snurra med hjälp av 2 dubbelt lagrade axlar som de står på.

4.3.1.5 Reglering och mätning

Regleringen har bestämts till digitala knappar som kommer att styra ett reglersystem i form av en mikrokontroller. Mikrokontrollern kommer sedan att styra de olika utgångarna utefter vad användaren har programmerat att de olika knapparna ska medföra. En digitalt simulerad krets med tillhörande kod har genererats i programmet TinkerCad utvecklat av Autodesk (2024). Kretsen tillsammans med koden fungerar för en funktionsduglig prototyp. Denna krets har en Arduino Uno som mikrokontroller och hanterar utgångarna:

- DC motor 1, som representerar en fläkt för filamentkammaren.
- DC motor 2, som representerar en fläkt för desiccantrotorns luftström.
- DC motor 3, som representerar en motor för desiccantrotation.
- Lamp 1, som i kretsen simulerar en PTC-värmare för filamentkammaren.
- Lamp 2, som i kretsen simulerar en PTC-värmare för desiccantrotorns luftström.

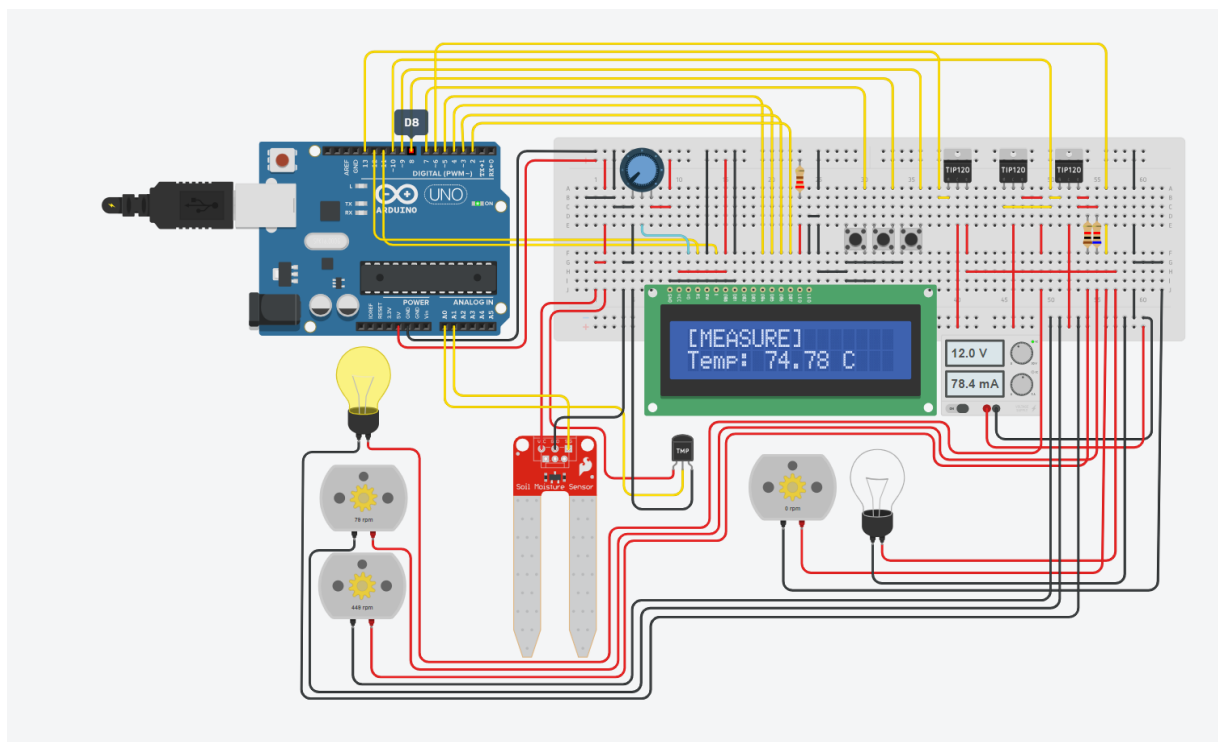
utifrån ingångarna:

Soil Moisture Sensor 1, vilket i kretsen är en fuktgivare.

Temp sensor 1, vilket i kretsen är en temperaturgivare.

Koden till mikrokontrollern fungerar genom att den har 2 lägen, “Measure mode” för att mäta och visa information och “Target mode” för att ställa in önskad temperatur. Vid inställd temperatur (exempelvis 50 °C) kommer utgången för fläkten och ptc-värmaren som sitter i filamentkammaren slås till. Därefter när temperatursensorn uppnår önskat värde (exempelvis 50 °C) stängs utgångarna av för att sedan starta om temperaturen sjunker. Koden innehåller också en funktion som startar PTC-värmaren för desiccantrotorn samt fläkten till denna ifall luftfuktigheten i filament kammaren är över 20% RH.

Dessutom finns en funktion som utnyttjar variabel fläkthastighet utifrån hur långt ifrån 20% RH fuktmätaren visar och på sätt kommer luftfuktigheten att självregleras ner till önskat värde. Under projektets gång kommer inte en arduino att användas då den har svårigheter att ge ström till de krävande komponenterna med enbart 5 volts utgångar. Prototypen byggs i stället med en MKS kort som originellt är anpassad för 3D-skrivare men även kan användas för annat. kopplingarna är snarlika och TinkerCad är ett bra sätt att visualisera ett kopplingschema. Se figur 6 för en visualiserad ritning av kretsen. Makerbase-mks (2019)



Figur 6. Arduinokrets, Tinkercad.

4.3.2 Termiska analyser

För att säkerställa att systemet fungerar optimalt under alla förhållanden har termodynamiska ekvationer använts för att modellera och analysera värmeöverföring och avfuktningssprocesser i filamentkammaren. Dessa ekvationer är avgörande för att förstå hur värme och fukt transporteras i systemet, vilket är centralt för att dimensionera och reglera värmeelementet och avfuktningstekniken. Den termodynamiska analysen bygger på energibalansprincipen, där den tillförda värmen balanseras av energin som går åt för att värma upp luften, materialet och driva avfuktningen. Utgångspunkten är den generella energibalansen:

$$Q_{tillförd} = Q_{uppvärmning} + Q_{avdunstning} + Q_{förlust}$$

Där:

$Q_{tillförd}$ är den totala mängden värme som genereras av värmeelementet [W].

$Q_{uppvärmning}$ är energin som krävs för att höja temperaturen i kammaren [W].

$Q_{avdunstning}$ är energin som används för att avlägsna fukt genom avdunstning [W].

$Q_{förlust}$ är energiförluster genom värmeledning, konvektion och strålning [W].

Samtlig teori för beräkningsgången i avsnitt 4.3.2 kommer från boken *Fundamentals of thermal-fluid sciences* (2017).

4.3.2.1 Beräkningar för PTC-värmare filamentlåda

För att beräkna vilken effekt som behövs på PTC-värmaren till filamentlådan genomfördes följande beräkningsgång tillsammans med en begynnande dimensionering, se tabell 10.

Tabell 10, Resultat från begynnande dimensionering.

Storhet	Min höjd (cm)	Max höjd (cm)	Min bredd (cm)	Max bredd (cm)	Min längd (cm)	Max längd (cm)	Min volym (m ³)	Max volym (m ³)
Värde	27	35	27	35	35	45	0,0255	0,0551

För att dimensionera värmebehovet och specificera rätt värmare användes följande parametrar:

Ingångsdata

Ingångstemperatur: 20 °C

Luftens specifika värmekapacitet (C_v) : 0,7181 kJ/(kg · K)

Temperaturförändring (ΔT): 70 °C (från 20 °C till 90 °C)

Densitet luft: 1,1455 kg/m³

Tid för uppvärmning: 10 minuter (600 sekunder)

Antagande: Konstant och isolerad volym

Beräkningar

1. Energi som krävs för uppvärmning:

Den energi som behövs för att värma upp systemets maximala volym beräknades med formeln:

$$Q = C_v \cdot \rho \cdot V_{max} \cdot \Delta T \cdot 1000$$

Genom att sätta in värdena erhålls:

$$Q = 0,7181 \cdot 1,1455 \cdot 0,0551 \cdot 70 \cdot 1000 = 3,1727 \text{ kJ}$$

2. Effektbehov:

Effekten som krävs för att uppnå denna energi inom den givna tidsramen på 600 sekunder är:

$$P = Q \div t = 3172 \div 600 = 5,28 \text{ W}$$

Slutsats

Baserat på beräkningarna krävs en värmare med en effekt på minst 5,28 W för att värma luftvolymen inom 10 minuter. För att ta hänsyn till eventuella värmeförluster, variationer i volym och ineffektivitet i PTC-värmaren rekommenderas en värmare med en effekt på 50–100 W. Effekten kan sedan finjusteras med hjälp av en PWM-funktion i styrenheten för att optimera prestandan och minska energiförbrukningen.

4.3.2.2 Beräkningar för geometri och PTC-värmare desiccantrotor

För att dimensionera desiccantrotorns geometri (se Figur 7) och bestämma vilken effekt som krävs på PTC-värmaren som värmer desiccantluftströmmen, genomfördes följande beräkningar.

Mängd Kiselgel nödvändigt

Kiselgel används för att binda fukt från luften. Mängden kiselgel som krävs beräknades baserat på följande:

3. Beräkning av luftens massa:

$$m_{luft} = C_v \cdot \rho \cdot V_{max}$$

$$m_{luft} = 0,7181 \cdot 1,455 \cdot 0,0551 = 0,0575$$

4. Beräkning specifik fuktighet (x):

$$x = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P - P_v} = 0,622 \cdot \frac{1169}{101325 - 1169} \approx 0,00721 \text{ kg vatten per kg luft}$$

Där:

P_v = Partialtrycket för vattenånga [Pa]

P = Totalt atmosfärstryck [Pa]

5. Beräkning av vattenmängd vid 20 °C och 50 % relativ luftfuktighet:

$$m_{vatten} = m_{luft} \cdot x$$

$$m_{vatten} = 0,0575 \cdot 0,00721 = 0,4 \text{ gram vatten}$$

Eftersom kiselgel binder upp till 40 % av sin egen massa i fukt, hade cirka 1 gram kiselgel räckt för att torka luften under ideala förhållanden. Dock, med hänsyn till högt fukttinnehåll i filamentet, utnyttjandet av endast halva desiccantrotorns volym i taget, geometriska förluster samt ej fullständigt isolerade komponenter, gjordes en uppskattning att cirka 200 gram kiselgel skulle användas.

Volym för kiselgel och rotor

6. Volym för kiselgel:

$$\rho_{kiselgel} = 700 \frac{kg}{m^3}, \quad V_{kiselgel} = \frac{m_{kiselgel}}{\rho_{kiselgel}}$$

$$V_{kiselgel} = \frac{200 \cdot 10^{-3}}{700} = 0,000286$$

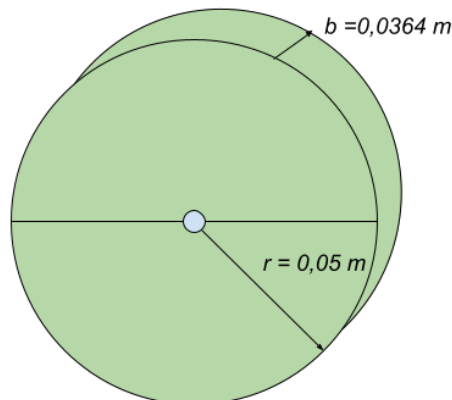
7. Dimensionering av desiccantrotor:

$$V_{D.Rotor} = \pi \cdot r^2 \cdot b$$

$$b = \frac{V_{D.Rotor}}{\pi \cdot r^2}$$

För $r = 0,05 \text{ m}$:

$$b = \frac{0,000286}{\pi \cdot 0,05^2} = 0,0364 \text{ m}$$



Figur 7. Desiccantrotor geometri.

Beräkning av värmarens effekt

För att beräkna energin och effekten som krävs för att värma luftströmmen i desiccantrotorn användes följande parametrar:

Ingångsdata

Ingångstemperatur: 20 °C

Temperaturmål: 110 °C

Volymflöde: 10 liter/minut = 0,0001667 m³/s

Luftens specifika värmekapacitet (C_v) : 0,7192 kJ/(kg · K)

Luftens densitet: 1,2585 kg/m³

8. Energibehov för uppvärmning:

$$Q \cdot \dot{m} \cdot C_v \cdot \Delta T$$

Där massflödet ges av:

$$\dot{m} = \rho \cdot V_{flöde}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot V_{flöde} = 0,0002097 \text{ kg/s}$$

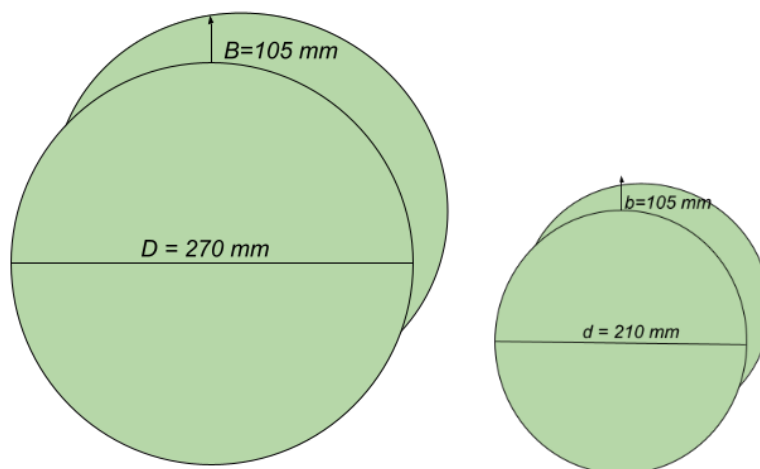
$$Q = 0,002097 \cdot 0,7192 \cdot 90 = 13,57 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 13,57 \text{ W}$$

Effektbehov med marginaler:

Effektbehov med marginaler: För att ta hänsyn till turbulent luftflöde, konvektionsförluster och grova antaganden, rekommenderas en PTC-värmare med en effekt på minst 50 W.

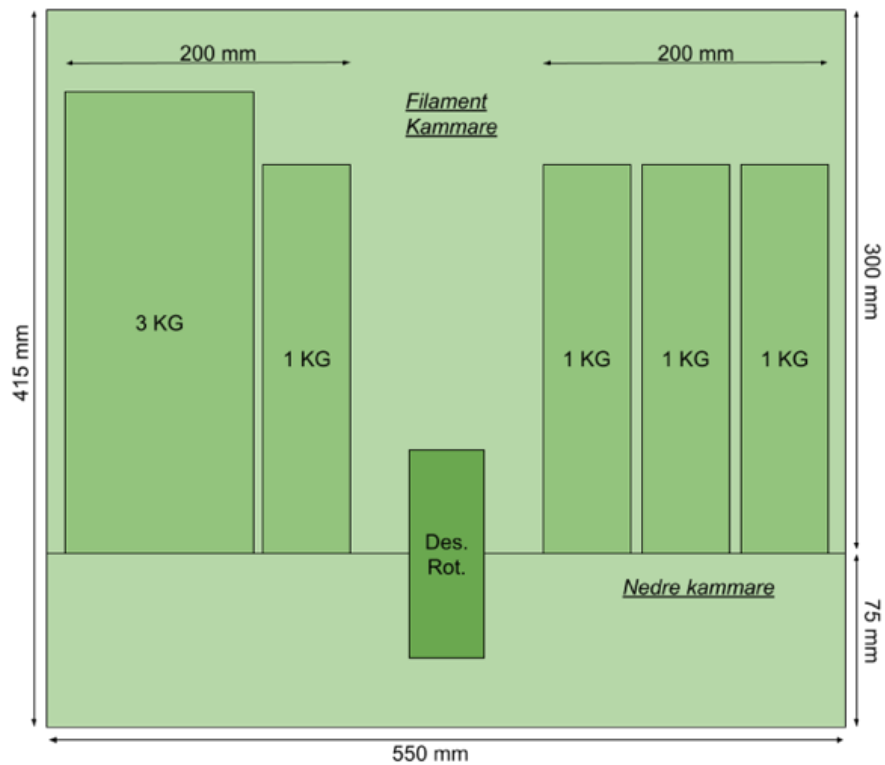
4.3.3 Slutgiltig dimensionering

Vid samtal med företaget och hänsyn till krav 1.3, 3.1 och 3.2 framkom att följande alternativ för modularitet utgjorde den bästa lösningen där olika stora filamentrullar skulle få plats, se figur 8. Den färdiga lådan skall ha plats för 2 st. 3 kg filament rullar [210 mm], 4 st. 1 kg filament rullar [320 mm] samt 1 st. 3 kg och 3 st. 1 kg filament rullar [345 mm].



Figur 8. Visualisering av filament rullar i olika storlekar (3 kg till vänster och 1 kg till höger).

Med placering av desiccantrotorn i mitten och filamentrullarna på vardera sida om denna skulle varje axelbredd för filament behöva vara minst 200 mm. Detta för att det skall finnas spelrum att sätta i och ur rullarna samt att vissa filamentrullar kan skilja i angivna mått. I lådan tillbyggs dessutom en nedre kammare där nätaggregat, styrenheter, värmeström för desiccantrotorn, PTC-värmare, och övrig elektronik kan placeras. Detta är visualiserat i figur 9 som inte är skalenlig.



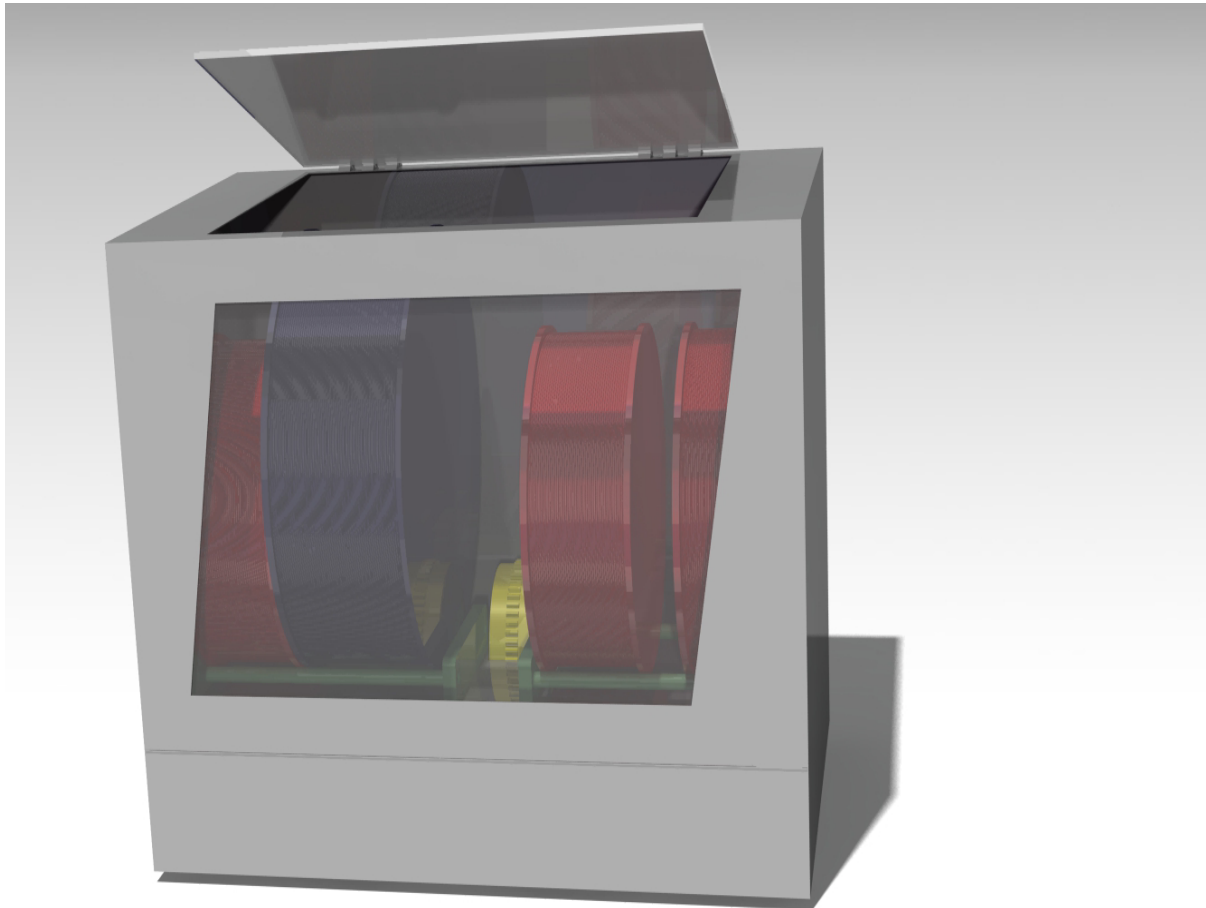
Figur 9. Dimensioner filamentlåda.

4.3.4 Komponentlista

För att enklare möjliggöra byggandet av prototypen skapades en komponentlista där alla systemets komponenter listades. Se Bilaga 5.

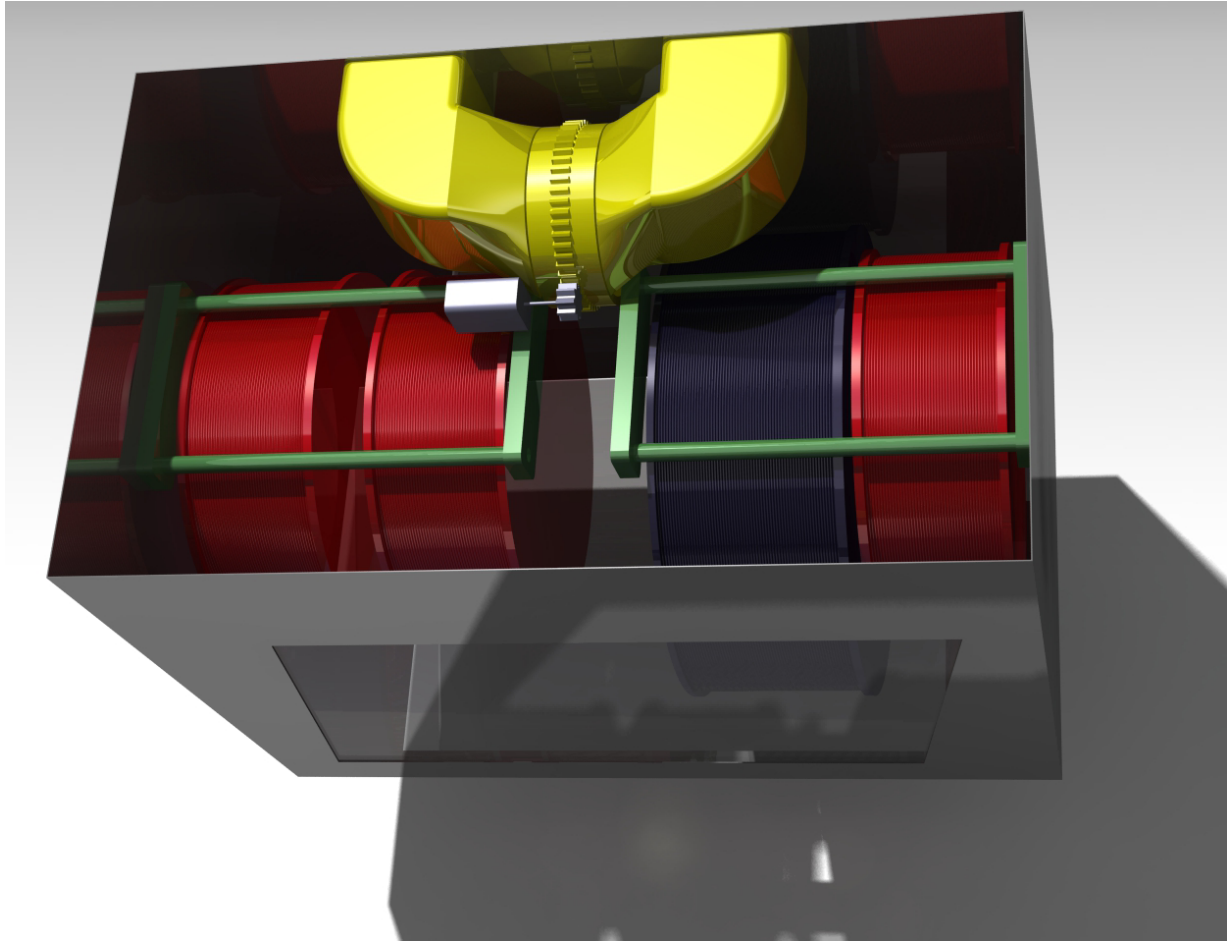
4.4 Färdig 3D modell av slutprodukt

Med hjälp av dimensioneringen och komponentlistan kunde den digitala 3D modellen skapas i programmet CATIA V5 (Dassault Systèmes, 2023). En helhetsbild av alla sammansatta komponenter syns i figur 10. På framsidan har en vinklad utskärning gjorts och ett plexiglas är monterat för estetisk finish och samspråk med företagets övriga produktlinje. Detta är dock inget som anses vara nödvändigt för prototypen. Detsamma gäller toppens lock som här också är av materialet plexiglas.



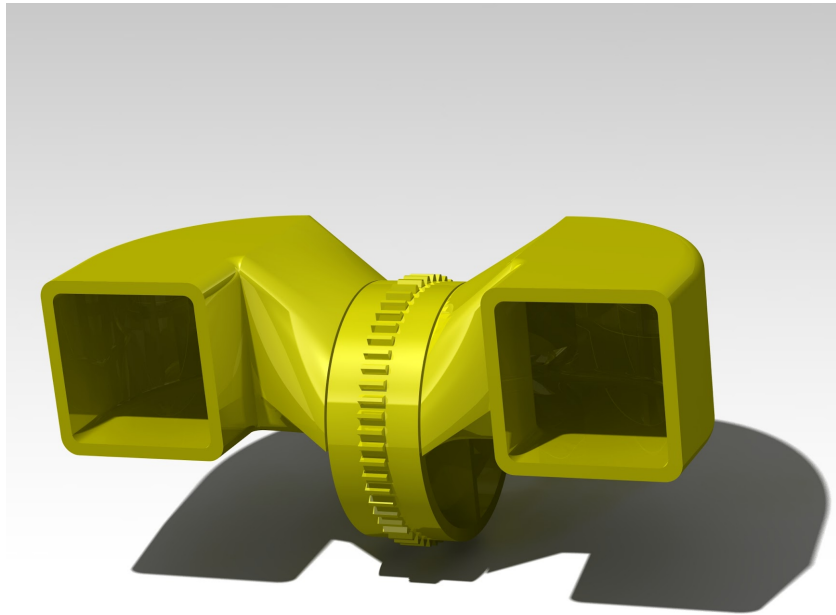
Figur 10. *Komplett Assembly.*

På undersidan av modellen kan det utgöras vilka proportioner komponenterna har och desiccantrotorn och dess tillhörande luftkanaler visas tydligt i gul färg. Det visas även en exempelmotor med dimensionerna 20x30x40 mm som är monterad på mellanlägget, se figur 11.

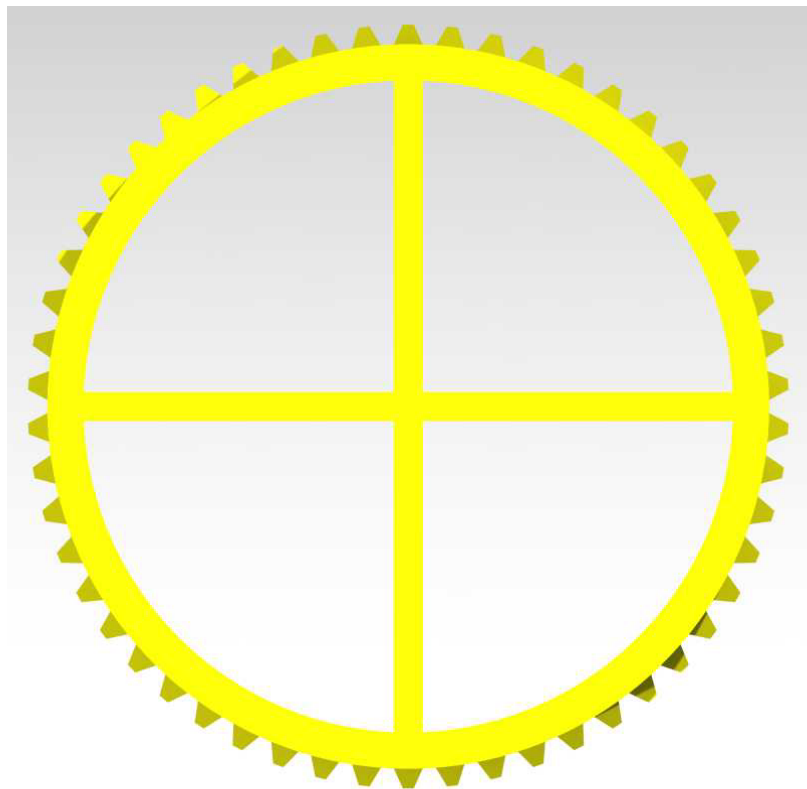


Figur 11. *Från undersidan utan mellanlägg och bottenplatta.*

Desiccantrotorn är skapad med de uträknade dimensionerna från den termiska analysen och dess tillhörande kanaler har vinkeln 90° och en vinklad fläns emellan för att möjliggöra luftflödets formövergång mellan halvcirkel och kvadrat. Kanalerna har en kvadratisk form med tjocklek 5 mm för att enkelt kunna skriva ut dem i ett prototypsammanhang och dess tvärsnittsarea har försökts hållas inom 10 % av halvcirkelns tvärsnittsarea för att inte skapa onödiga tryckdifferenser i luftflödet. Kanalerna har också designats med dimensionerna från en färdig fläkt i åtanke. Se figur 12 och 13. (Dassault Systèmes, 2023)



Figur 12. *Desiccantrotor Assembly*

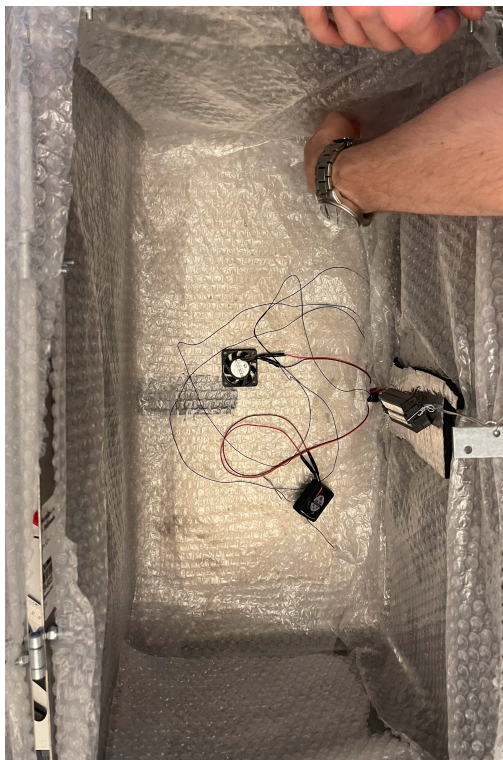


Figur 13. *Desiccantrotor hjulprofil.*

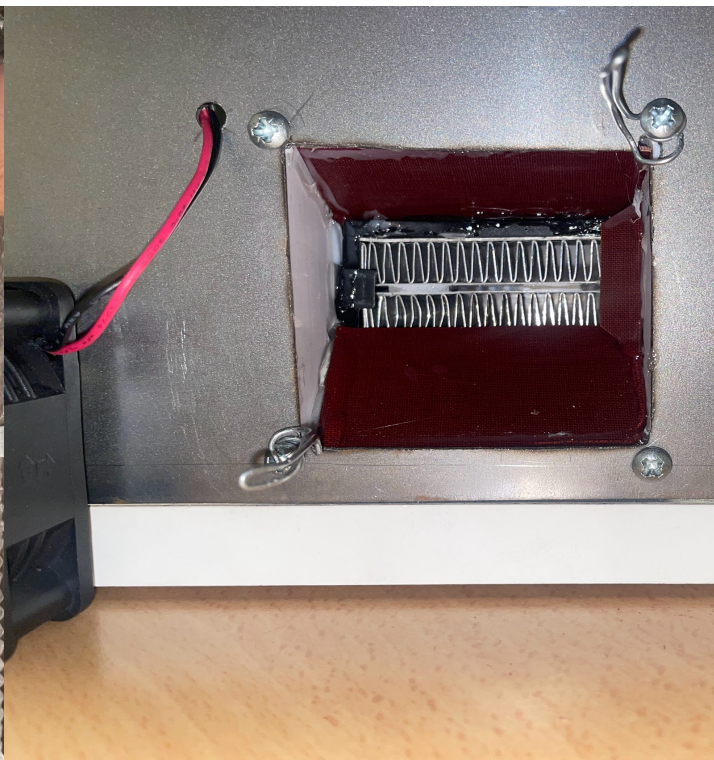
4.5 Tillverkning av prototyp

Syftet med att utveckla en prototyp var att verifiera konceptets funktionalitet och säkerställa att de grundläggande kraven i kravspecifikationen uppfylls. Prototypen gav möjlighet att testa huvudfunktionerna, såsom temperaturregulering och avfuktning. Fokus låg på att uppnå stabil drift och optimala prestanda för torkning av filament, vilket är avgörande för produktens framtida användning och möjligheter till storskalig produktion.

Prototypen tillverkades av plåtskivor, vilket överensstämmer med kravspecifikationen Strukturellt Material 8.1 och företagets tillgängliga resurser. För att skapa en kostnadseffektiv och funktionsduglig prototyp användes anpassningar som bubbelplast för isolering, ett begagnat nätaggregat som strömförsörjning och ett utvecklingskort för 3D-skrivare. Dessa anpassningar minskade kostnader och komplexitet utan att påverka prestandan negativt. För att använda mikrokontrollern och tillämpa den etablerade koden konfigurerades en känd programvara för ett kompatibelt utvecklingskort, Arduino Mega 2560 (Arduino, 2024). Se figur 14 och 15 för illustrationer av prototypen.



Figur 14. Komponentmontering

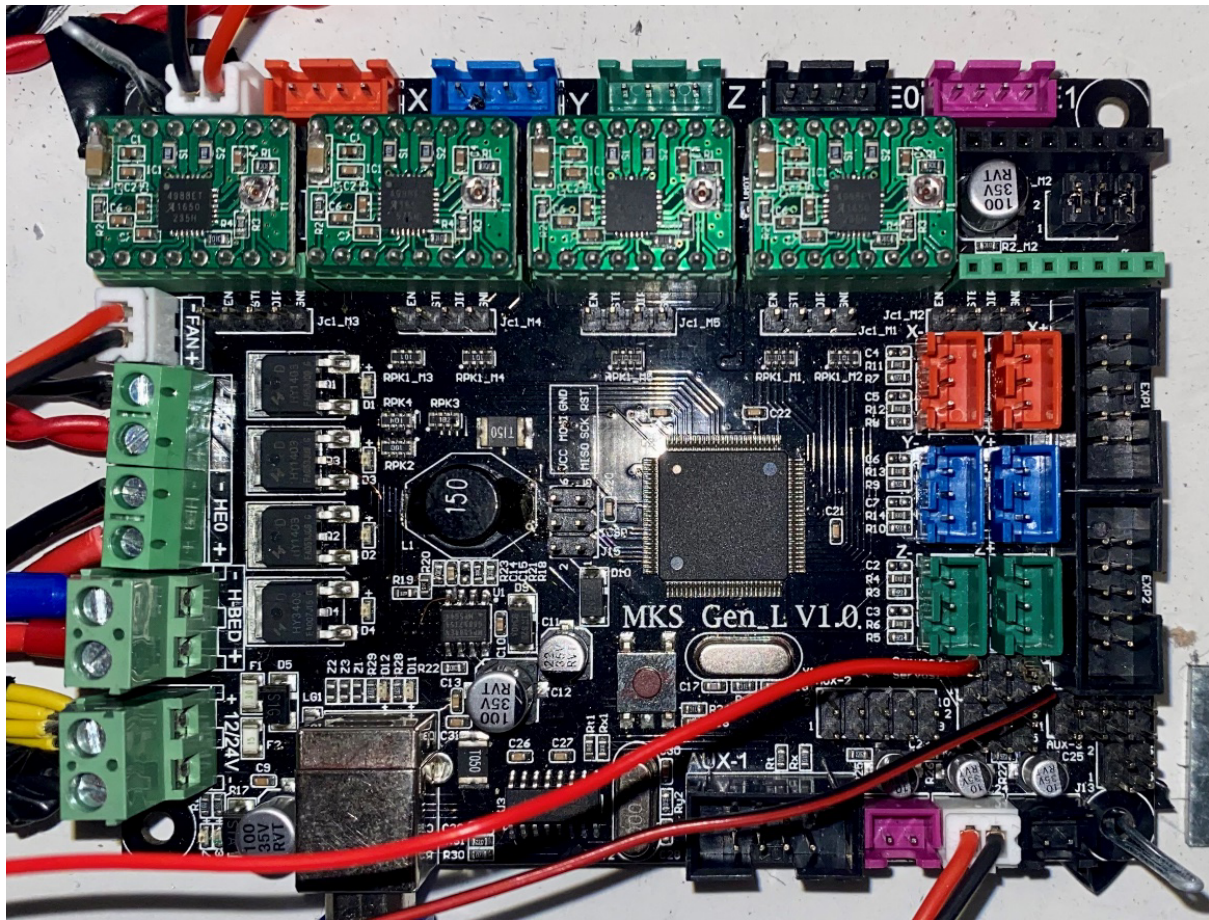


Figur 15. Luftflöde, Desiccantrotor & PTC-kanal.

Produktdukten är en funktionsmodell som är till för att testa vissa grundprinciper och till skillnad från den färdiga 3D-modellen av slutprodukten saknar den motor, plexiglas, rullar för filament och vissa andra nödvändiga komponenter.

4.6 Kopplingsschema

För att se till att de tillhörande komponenterna fungerade enligt den förutbestämda koden kopplades de in enligt figur 16. De olika portarnas namn och effekt hos MKS Gen_L kortet kontrollerades via ett kopplingsschema uppritat av Makerbase-mks (2019) och därefter anpassades koden med hjälp av ChatGPT (OpenAI, 2024). Nödvändiga kalibreringar gjordes med hjälp av externa verktyg för att säkerställa att prototypen betedde sig som programmerat. Värt att notera är att PTC-värmarna kräver lite extra ström och är därför inkopplade i de kraftigare portarna till vänster. Fläktarna och termistorn är kopplade till vanliga portar med lägre spänning.

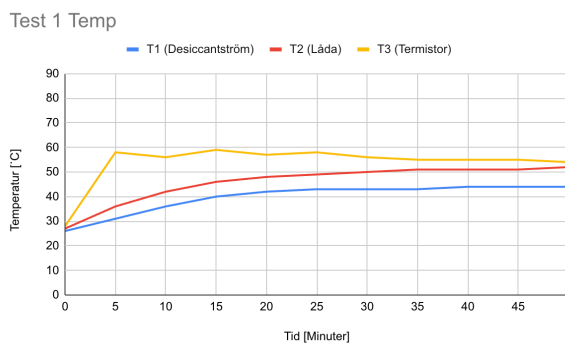


Figur 16. Bild av kretskortet

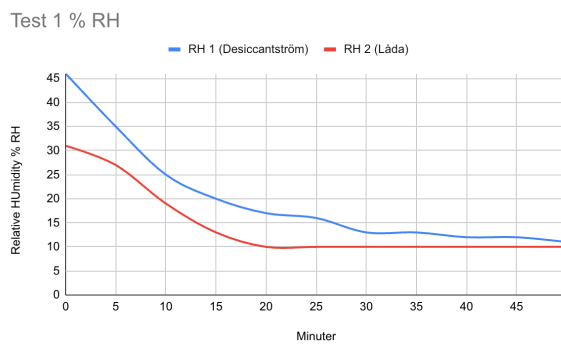
4.7 Genomförda funktionstester

Test 1 och 2 genomfördes i syfte att mäta skillnaden på luftfuktighet i två olika utföranden av prototypen, med och utan desiccantrotorn. Testerna genomfördes med kammarvärmaren inställd på 55 °C, desiccantrotorns PTC-värmare tillslagen i intervall om 30 sekunder till och 5 sekunder från på grund av risk för överhettning, en fristående temperatur/fukt -mätare i kanalen för desiccantrotorn, en till fristående temperatur/fukt -mätare i kammaren och en inkopplad termistor i kretsen.

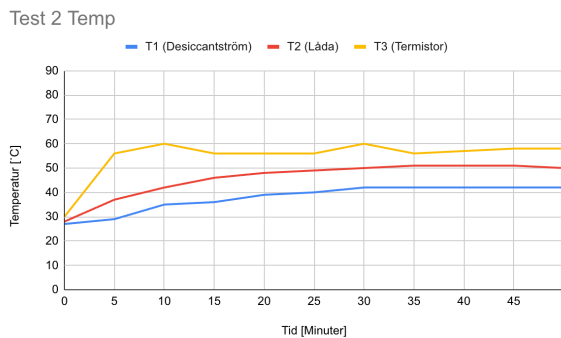
Fukt och temperatur från de fristående mätarna loggades för hand och fördes sedan in tillsammans med output från kretsen i tabeller. Tabelldata för dessa tester finns tillgänglig som Bilaga 6, se figurerna 17-20.



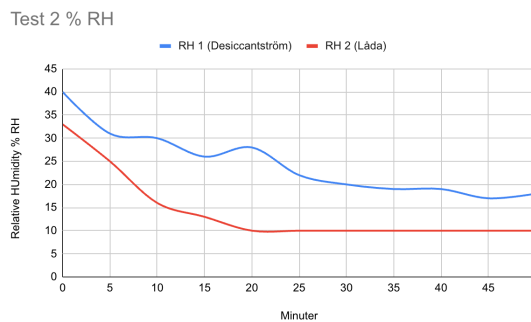
Figur 17. Test 1 Temperatur



Figur 18. Test 1 Relativ Luftfuktighet



Figur 19. Test 2. Temperatur



Figur 20. Test 2. Relativ Luftfuktighet

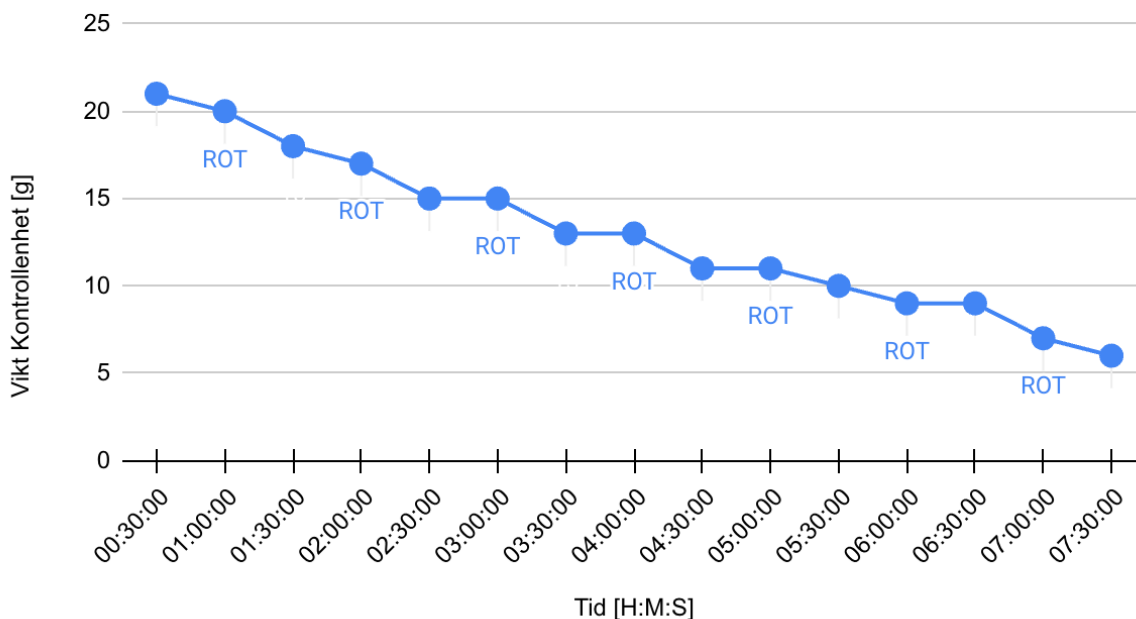
Test 3 genomfördes i syfte att demonstrera hur mycket fukt uppmätt i massa (gram) som prototypen kunde avlägsna på en viss tid. Likt test 1&2 genomfördes testet med kammarvärmaren inställd på 55 °C, desiccant PTC på (Intervall 30 sekunder på och 5 sekunder av på grund av risk för överhettning), en fristående temp/fukt -mätare i kanalen för desiccantrotorn, en till fristående temp/fukt -mätare i kammaren och en inkopplad termistor kretsen.

Utöver detta användes en kontrollenhet i form av en disksvamp med 6 grams torrsvikt i rumstemperatur med 50% RH. Kontrollenheten fylldes med vatten, kramades sedan ur och vägdes i intervaller om 30 minuter för att kontrollera hur mycket fukt som hade avlägsnats.

Desiccantrotorn snurrades manuellt 180 ° varje timme och fukt och temp från de fristående mätarna loggades för hand och fördes sedan in i tabeller.

Tabelldata för detta test finns tillgänglig som Bilaga 6, se figur 21.

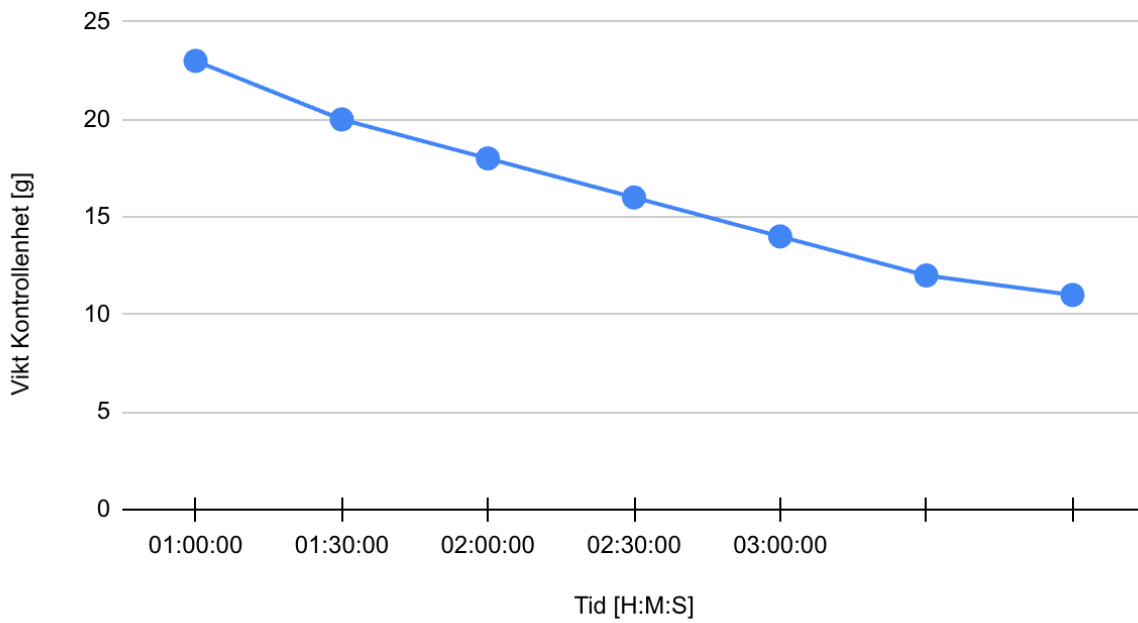
Test 3 - Med Dessicant, Fuktutdrivning



Figur 21 Test 3 Fuktutdrivning

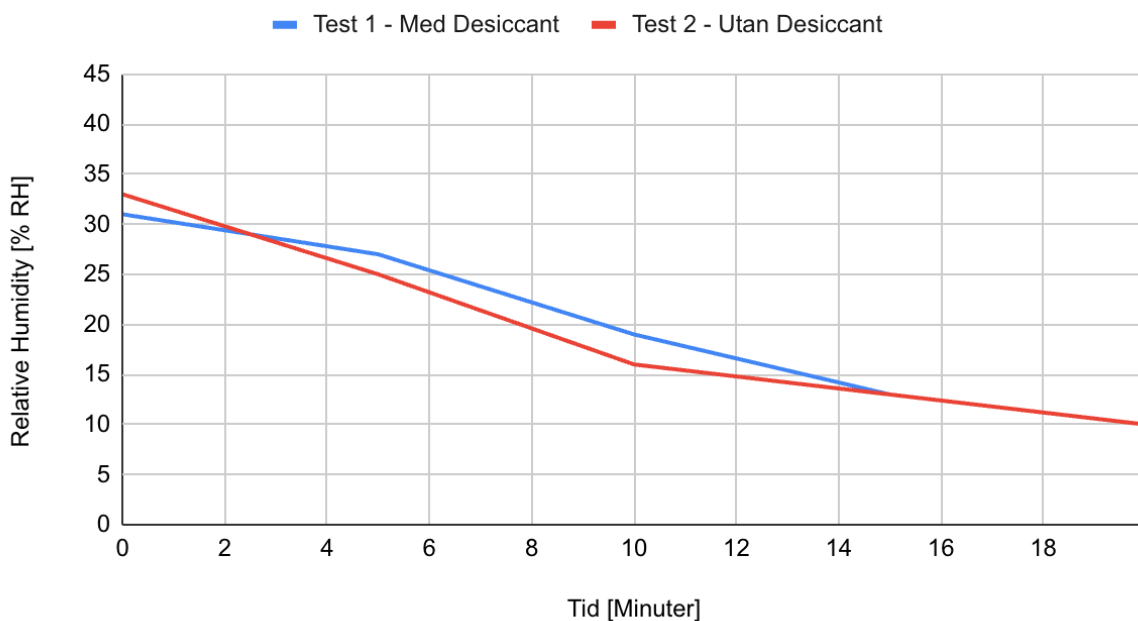
I det fjärde testet var syftet framför allt att se hur fukthalten inuti lådan förändrades över tid utan desiccantrotorn. Detta mättes av en extern fuktsensor inuti lådan varje halvtimme, då det inte fanns någon desiccantrotor i lådan behövdes inte denna vändas under testets gång. Precis som i tidigare tester låg en svamp som tillsammans med fukten i denna vägde 23 gram från början. Värdena visas i figur 22 och 23 samt i Bilaga 6.

Test 4 - Utan Desiccant, Fuktutdrivning



Figur 22. Test 4 Fuktutdrivning.

Initial Jämförelse Test 1 & 2



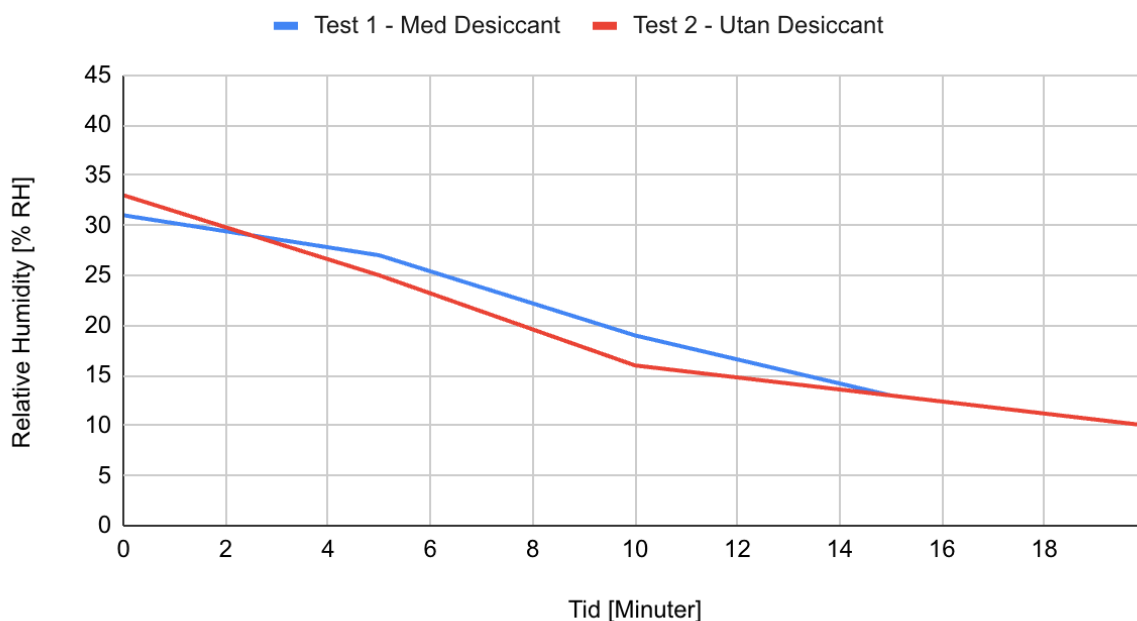
Figur 22. Test 4 Relativ Luftfuktighet.

5. Diskussion

5.1 Analys av resultat

Projektet har tillverkat en funktionsduglig prototyp där en mängd tester visar på resultatet. Test 1 och 2 visar en viss skillnad i luftfuktighet men skillnaden försvinner vid 15 minuter där båda test följer samma linjära minskning i luftfuktighet. Se Figur 24. Den relativt lilla skillnaden i resultat skulle kunna bero på att det är en för liten mättingsfrekvens utöver ett för kort tidsintervall med mycket förändring samtidigt som desiccantrotorn troligtvis hade liten inverkan när enbart värme torkade luften.

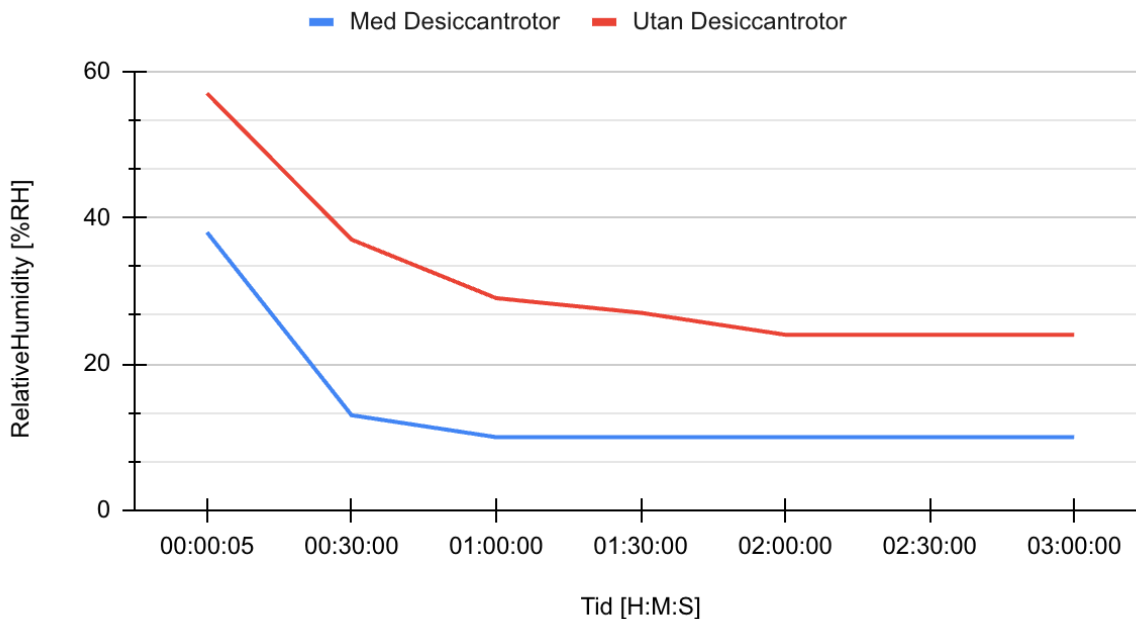
Initial Jämförelse Test 1 & 2



Figur 24. Initial Jämförelse Test 1 & 2.

Det finns en tydligare skillnad i jämförelsen mellan test 3 och test 4. Figur 25 visar att desiccantrotorn genomför en betydande absorption av fukt som ger kraftiga utslag på mätningen. Detta kan tänkas bero på den tillsatta mängden fukt i lådan och att systemet inte kunde få bort fukten snabbt med enbart värme. Test 3 med desiccantrotor når ner till 10% luftfuktighet efter 1 timma medan test 4 utan desiccantrotor aldrig når 10% luftfuktighet utan stabiliserar sig på omkring 25% efter två timmar. Värt att notera här är att den initiala fuktigheten i luften varierade mellan testerna men då båda testerna stabiliserar sig vid olika fukthalter kan slutsatser dras därifrån.

Jämförelse Test 3 & 4



Figur 25. Jämförelse Test 3 & 4.

En till graf som bevisar desiccantrotorns funktionalitet syns i figur 21 där det finns en tydlig trend om minskad vikt för kontrollenheten varje timme. Detta kan kopplas till testets utförande där rotation av desiccantrotorn genomfördes varje timme medan fuktmätning gjordes var 30:e minut. En möjlig förklaring till detta är att desiccantrotorn mättats med fukt och behövde roteras för att genomgå regenerering.

Testerna bevisar en funktion för prototypen men kan inte ge några tydliga indikationer på hur en färdig slutprodukt skulle prestera, detta eftersom anpassningarna som tagits upp i föregående avsnitt påverkat prestationen på ett avgörande vis.

5.2 Verifiering av kravspecifikation

Under projektets gång har fokus varit att uppfylla de definierade kraven i kravspecifikationen. Trots vissa kompromisser på grund av begränsningar i tid och resurser har de viktigaste funktionerna framgångsrikt implementerats och verifierats. Tester visar att prototypen effektivt uppfyller kraven på temperaturreglering (0.1) och avfuktning (0.3), där systemet håller en stabil temperatur inom ± 1 °C och reducerar luftfuktigheten till under 10 % RH inom en timme. Prototypens design möjliggör också hög flexibilitet, med tillräckligt utrymme för att hantera stora filamentrullar (3 kg) och flera mindre rullar, vilket uppfyller krav 1.3, 3.1 och 3.2. Den modulära strukturen säkerställer kompatibilitet med olika filamentkonfigurationer och underlättar framtida anpassningar. Även om vissa funktioner, såsom filamentvakten, inte implementerades i denna iteration, ansågs detta vara ett önskemål snarare än ett krav. Denna funktion kan enkelt integreras i framtida versioner vid behov. För nuvarande ZYYX 3D-skrivare är detta dock inte nödvändigt då dessa redan är utrustade med en inbyggd sensor. Se tabell 11 för en övergripande visualisering om kravens uppfyllnad.

Sammanfattningsvis visar prototypens prestanda att konceptet uppfyller de flesta krav och har kapacitet att möta användarens behov. Funktionaliteten demonstrerar dessutom potential för vidareutveckling mot fullständig efterlevnad av kravspecifikationen.

Tabell 11, Verifiering av krav ur kravspecifikation

Krav nr.	Krav	Status	Kommentar
0.1	Temperaturreglering	Uppfyllt	Systemet håller en stabil temperatur inom ± 1 °C, vilket säkerställer en effektiv filamenttorkning.
0.3	Aktiv avfuktningsteknik	Uppfyllt	Desiccantrotorn reducerar luftfuktigheten till 10 % RH inom en timme enligt tester.
1.1	Torkeffekt	Ej uppmätt	På grund av mätinstrumenten kunde inte torkeffekten mätas lägre än ner till 10 % RH.
1.2	Minsta uppvärmningsförmåga	Uppfyllt	Systemet når den angivna minimitemperaturen på 90 °C inom den specificerade tiden.
1.3	Modularitet	Uppfyllt	Lådan har tillräckligt utrymme och flexibilitet för att stödja flera olika konfigurationer.
3.1	Rullestorlek	Uppfyllt	Klarar att hantera stora rullar (3 kg) samt mindre rullar enligt kravspecifikationen.
3.2	Antal rullar	Uppfyllt	Kan hantera upp till fyra små rullar eller två stora samtidigt, vilket verifierats i tester.

5.3 Verifiering av frågeställningar

Nedan besvaras frågeställningarna utifrån projektets resultat:

- Vilka är de viktigaste parametrarna för att en filamenttork ska fungera?

För att en filamenttork ska fungera optimalt har projektets problemdefinition, prototyp och tester skapat en uppfattning om att det finns flera faktorer som påverkar funktionen hos filamenttorken. De viktigaste parametrarna är värme, luftfuktighet och isoleringsförmåga. Värmen gör att den relativa fuktigheten i luften sjunker genom termodynamiska samband, hög luftfuktighet påverkar filamentet genom drastiskt försämrade resultat och isoleringsförmågan är nödvändig för att på ett kontrollerat sätt skilja den inneslutna miljön där filamentet torkas från den omgivande atmosfären. Högre isoleringsförmåga bidrar till mindre energiförbrukning och snabbare torkförmåga.

- Hur påverkar mätutrustningen testresultaten?

Under projektets gång och framför allt under prototypstadiet användes en rad olika komponenter och material med varierande kvalitet. Vissa var begagnade efter tidigare projekt som Zyyx 3D har arbetat med medan andra var helt nya. Vissa komponenter som var tänkta att användas blev problematiska att få tag på på grund av budget och tidsbrist. Projektet anpassade sig därför utifrån förutsättningarna som fanns för att kunna ta fram prototypen och få fram resultat. Anpassningar såsom byte av tänkt kretskort ändrade riktning på projektet men visade sig fungera oavsett. Mätutrustningen som användes var framför allt termistor och fuktighetsmätare. Termistorn gav ifrån sig en del problem då den var problematisk att kalibrera och då hela systemet går in i olika faser beroende på temperatur kan detta ha spelat en stor roll för resultaten. I slutändan var det fortfarande några grader fel men detta ansågs vara tillräckligt bra för att kunna få ut värden oavsett. Den förmodligen viktigaste komponenten som användes för mätresultat var fuktighetsmätaren. Denna var tänkt att vara en del av systemet i början och därför sammankopplas till kretskortet som hade kunnat anpassa övriga funktioner utefter fuktigheten i lådan. Återigen gjordes en kompromiss på grund av bristande budget och en billigare extern variant användes till testerna. Trots att denna inte var tillräckligt noggrann kunde resultat uppnås oavsett och utefter det kan godtyckliga antaganden användas och tas vidare för diskussion.

- Hur sammankopplas tork och förvaringsfunktion?

Att sammankoppla tork och förvaringsfunktion har i projektets utfall gjorts genom att integrera ett torkande delsystem i form av desiccantrotation i samma låda som filamentet förvaras. Undersökningar som gjordes i teoretisk bakgrund visar också att det på den existerande marknaden även finns produkter som endast använder värme för att torka och förvara filamentet, men även produkter som endast använder absorberande desiccant. Hela systemet är menat att knytas samman via kod i kretskortet. Detta speglas i prototypen där ett MKS kort användes för att föra samman delfunktionerna.

- Vilka tillvägagångssätt finns för att skapa en torr sluten miljö?

Projektet har undersökt uttorkning av luft i form av elektrolys, värmepumpsystem och absorption. Detta är en del av en större mängd tekniker och produkter som torkar luft. Det sammantagna är dock att de utför samma arbete, att avlägsna vattenmolekyler ur en kontrollerad volym luft.

5.4 Vidareutveckling

Projektets huvudsakliga resultat var en prototyp samt tillhörande tester. Det finns dock stor potential för vidareutveckling inom projektets ramar. Exempel på detta innefattar optimeringar, förbättrade förutsättningar och ytterligare tester, vilka kan vara avgörande för att förvandla prototypen till en slutprodukt.

När det gäller själva produkten finns flera optimeringsmöjligheter, särskilt eftersom vissa av de använda komponenterna och materialen inte var helt optimala. En viktig aspekt är att uppnå en helt lufttät konstruktion, något som prototypen hade svårt att uppfylla. För att förbättra lufttäteten skulle exempelvis lister och lock kunna optimeras, som i nuläget släpper in luft och ut värme. Detta skulle bidra till både energieffektivitet och funktionalitet, vilket är särskilt viktigt för en potentiell slutprodukt. Andra begränsningar inkluderar de valda komponenterna, vilka inte alltid är designade för filamentförvaring. Strömkällan utgjordes av ett äldre nätaggregat som inte kunde leverera tillräcklig ström, vilket hindrade vissa komponenter från att nå sin fulla kapacitet. Kretskortet som användes är egentligen avsett för 3D-skrivare och saknade vissa nödvändiga portar, vilket ytterligare begränsade systemets funktionalitet. Eftersom varken fläktarna eller värmeelementen kunde köras på full effekt, kunde prototypens fulla potential inte demonstreras, något som kan åtgärdas vid en framtida vidareutveckling.

En annan aspekt som identifierades senare i projektet var vikten av luftflödesoptimering. Hur luften cirkulerar inuti kammaren kan ha en avgörande inverkan på torkprocessens effektivitet. Detta studerades närmare mot slutet av projektet, i samband med optimering av PTC-värmarens effektuttag, men bristande fläkteffektivitet gjorde att luftcirkulationen var svår att testa ordentligt. Vidare optimering av luftflödet skulle kunna öka desiccantrotorns kapacitet att absorbera fukt.

Det finns även förbättringsmöjligheter för desiccantrotorn. Under idégenereringen utformades tre olika prototyper av desiccantrotorer med varierande geometri. En vidareutveckling av denna komponent skulle kunna innefatta tester av dessa olika designer för att undersöka luftläckage, fuktabsorptions- och frigöringsförmåga samt materialval för att motstå högre temperaturer, vilka skulle kunna bidra till en snabbare torkning av desiccanten. En annan viktig aspekt är att automatisera desiccantrotorns funktion utan att kompromissa lufttätheten, vilket inte uppnåddes i prototypen.

Mätutrustningen som användes under projektet utgjorde en begränsande faktor för resultaten. Termistorn och fuktmätarna uppfyllde inte de kvalitetskrav som behövs för att erhålla optimala resultat. För framtida utveckling skulle det vara fördelaktigt att använda en mer exakt fuktmätare som kan registrera luftfuktighet under 10 %, vilket var ett av projektets ursprungliga mål.

Anpassning för filamentrullar var ett område som inte hann färdigställas under projektet. Lådans storlek möjliggör lagring av flera filamentrullar, men det är nödvändigt att komplettera med de CAD-designade rullplattorna för att effektivt kunna hantera rullarna. Detta skulle också möjliggöra nya tester.

Sammanfattningsvis finns det flera förbättringar och funktioner som kan inkluderas i ett slutligt system. Vid fortsatt utveckling kan tillägg såsom ett vågsystem, en display med knappsats för styrning med mera övervägas. Innan nästa steg mot en färdig produkt tas, skulle ytterligare tester med mer exakt mätdata samt installation av bättre komponenter vara gynnsamma.

5.5 Felkällor

Felkällor som diskuterats under projektets gång är den mänskliga faktorn, noggrannhet och upplösning på fuktmätare, noggrannhet och upplösning på temperaturmätare, mätningfrekvens samt varierande förutsättningar för tester såsom temperatur och klimat. De testerna som gjordes krävde dessutom att lådan öppnades regelbundet för att läsa av värden på externa mätare vilka hade placerats inuti förvaringsutrymmet. Resultatet av detta blev då att miljön inne i förvaringsutrymmet påverkades externt vid varje mätning. Ytterligare diskussion om projektets påverkande felkällor finns i diskussionen om vidareutveckling samt besvarandet av frågeställningen.

5.6 Etisk hållbarhetsanalys

Utvecklingen av smarta filamenttorkar för 3D-skrivare har både tekniska och etiska dimensioner som påverkar hållbarheten. Detta avsnitt analyserar projektet utifrån tre centrala hållbarhetsaspekter: miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet.

5.6.1 Miljömässig hållbarhet

En central aspekt av projektet har varit att minimera miljöpåverkan i materialval och tillverkningsprocess. Genom att använda plåtskivor och återanvända komponenter som ett begagnat nätaggregat och bubbelplast för isolering har projektet strävat efter att reducera avfall och resursförbrukning. Vidare bidrar filamenttorken till att minska materialsvinn genom att säkerställa optimal kvalitet på filament, vilket förlänger dess användbarhet och därmed minskar behovet av nyttillverkning. Dessutom möjliggör den aktiva avfuktningstekniken, med desiccantrotorn som central komponent, en mer energieffektiv drift genom att minska värmebehovet i torkprocessen. Trots dessa ansträngningar kvarstår miljömässiga utmaningar, såsom energiförbrukningen vid drift, vilket kan optimeras ytterligare i framtida iterationer.

5.6.2 Ekonomisk hållbarhet

Prototypens kostnadseffektivitet och användning av standardkomponenter gör den tillgänglig även för mindre aktörer och hobbyister inom 3D-skrivning. Detta stärker den ekonomiska hållbarheten genom att erbjuda en lösning som inte kräver stora investeringar men som samtidigt förbättrar filamentets kvalitet och därmed minskar kostnader för defekta utskrifter. Vidare bidrar modulär design till att produkten kan anpassas och uppdateras över tid, vilket minskar behovet av att köpa nya produkter.

5.6.3 Social hållbarhet och etik

Projektet tar även hänsyn till sociala och etiska aspekter genom att stödja utvecklingen av teknik som är tillgänglig och användbar för en bred målgrupp. Produkten kan exempelvis gynna mindre aktörer som saknar avancerade torksystem, vilket kan bidra till att tillgängliggöra 3D-skrivarteknik för en bredare allmänhet. Etiskt har projektet prioriterat användning av säkra material och komponenter som inte utgör hälsorisker för användarna. Detta tydliggörs också i kravspecifikationens femte avsnitt om säkerhet.

Sammanfattningsvis har projektet integrerat flera aspekter inom hållbar utveckling genom materialval, kostnadseffektivitet och social tillgänglighet. Det finns dock ytterligare potential att förbättra produktens energieffektivitet och minska dess klimatpåverkan. Framöver kan en djupare livscykelanalys bidra till att identifiera fler områden för förbättring och säkerställa att produkten möter både nutida och framtida hållbarhetsmål.

6. Slutsatser

Efter genomförandet av idégenerering och koncepthantering har detta projekt resulterat i utvecklingen av en prototyp som visat sig fungera tillfredsställande för det avsedda syftet. Dessutom har en digital modell av en potentiell slutprodukt skapats.

Den nuvarande prototypen skiljer sig dock från den förväntade slutprodukten och kräver ytterligare utveckling och anpassningar för att uppnå full funktionalitet. Tester hade också behövts på en slutprodukt för att verifiera resultaten som prototypen antyder.

De mätverktyg som använts i projektet, tillsammans med bristen på tillförlitliga mätdata och variationer i externa förhållanden som klimat och temperatur, skapar en viss osäkerhet kring resultatens giltighet. För att säkerställa systemets prestanda och avgöra dess lämplighet för storskalig produktion krävs fler upprepade mätningar och tester med mer noggranna mätverktyg.

De preliminära mätresultaten antyder att idén om en desiccantrotor i ett småskaligt format är genomförbar och kan minska luftfuktigheten. Mätningarna indikerar en förändring i luftfuktigheten, men på grund av brister i mätutrustningens kvalitet är det svårt att exakt fastställa hur låg den faktiska luftfuktigheten blivit. Målet om att nå under 10 % relativ luftfuktighet verkar dock ha uppnåtts baserat på den observerade utvecklingen av mätvärdena.

7. Referenser

Autodesk. (2021). *The history of 3D printing: From rapid prototyping to additive manufacturing*. <https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-3d-printing>

Autodesk. (2024). *Tinkercad (2024 version)* [Cloud based software]. <https://www.tinkercad.com/>

Arduino. (2024). *Arduino IDE (Version 2.3.2)* [Computer software]. <https://www.arduino.cc/en/software>

BCN3D. (2021). *BCN3D smart cabinet: Optimal storage and improved performance of 3D printing filaments* (White paper). https://3d.bcn3d.com/hubfs/WebinarWhitepaper%20-%20New%20products%20content/Whitepapers%20New%20-%20Updated%2008-03-2021/Whitepaper%20update%2017-03-2021/BCN3D_White_Paper_Smart_Cabinet.pdf

BCN3D. (n.d.). *Storing and drying your filaments*. <https://www.bcn3d.com/storing-and-drying-your-filaments/>

Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Turner, R. H. (2017). *Fundamentals of thermal-fluid sciences* (5th ed.). McGraw-Hill Education. Chapter 7, "Energy Analysis of Closed Systems."

Dassault Systèmes. (2023). *CATIA V5 (Version V5-6R2023)* [Computer software]. <https://www.3ds.com/products-services/catia/>

Elvita. (2020). *Torkskåp räddar din vardag*. <https://elvita.se/artiklar/torkskap-raddar-din-vardag>

Formlabs. (n.d.). *3D printing materials: The most comprehensive guide*. <https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-materials/>

Grabianowski, E. (2024). *How dehumidifiers work*. HowStuffWorks. <https://home.howstuffworks.com/dehumidifier.htm>

HowStuffWorks. (2024). *What causes thunder and lightning?* HowStuffWorks. <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/question206.htm>

- Makerbase-MKS. (2019). *MKS Gen_L V1.0_008 pinout*. GitHub.
https://github.com/makerbase-mks/MKS-GEN_L/blob/master/hardware/MKS%20Gen_L%20V1.0_008/MKS%20Gen_L%20V1.0_008%20PIN.pdf
- Martinsson Bonde, J. (2021). *Morpheus (Version 0.6.0)* [Computer software].
<https://github.com/johnmartins/morpheus/releases>
- MatWeb. (n.d.). *Polycarbonate (PC) plastic material data sheet*.
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab96a4c0655c4018a8785ac4031b9278&ckck=1>
- Munters Europe AB. (2022). *Dehumidifier* (Patent No. SE2250840A2). Swedish Patent and Registration Office. <https://patents.google.com/patent/SE2250840A2/en>
- OpenAI. (2024). *ChatGPT*. OpenAI. <https://www.openai.com/chatgpt>
- Protolabs. (2023) *Types of 3D printing technology explained*. Protolabs.
<https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing/>
- Statista. (2023). *Most used 3D printing materials worldwide as of 2023*.
<https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>
- We Sell Fans. (n.d.). *Understanding centrifugal fans*. We Sell Fans.
<https://wesellfans.com/ventilation-resource/understanding-centrifugal-fans/>
- Wikipedias bidragsgivare. (2023, March 1). *Equilibrium moisture content*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Equilibrium_moisture_content
- Zyyx 3D. (2024). *Filamenthantering*. ZYYX Labs.
<https://www.zyyxlabs.com/sv/produktkategori/filamenthantering/>

8. Bilagor

Bilaga 1. Kundintervjuer

Frågor	Svar			
Tidstämpel	2024-06-24 18.49	2024-06-25 08.05.40	2024-06-25 15.23.20	2024-06-27 07.30.30
Vad är ni för typ av företag och hur ser ert samarbete ut med Zyxx Labs?	En institution tt lärosäte som sedan många år har över dussin Zyxx-maskiner som har Zyxx som huvudleverantör av tillbehör , förbrukningsmaterial och service.	Hitachi Energy i Ludvika (var ABB), vi tillverkar transformatorer och allt som ingår i det. Vårt samarbete med Zyxx är riktigt bra då vi har köpt in några av deras 3d skrivare till våran enhet som heter Components som tillverkar växellådan till transformatorn kan man säga, samt genomföringarna. Besök vår hemsida för mer info, Hitachi kommer att anställa minst 1500 personer under de kommande två åren och behöver bra utbildade personer.	Privatkund, modellbyggare. Hjälper Tomas lite ibland.	Har inget företag, positivt samarbete med Zyxx Labs
Vilka typer av filament använder ni och i vilka kvantiteter?	Pla, ca 40 rullar per år, samt diverse specialfilament för medicinska tillämpningar.	Vi använder mest PLA för att det är billigt, men näst mest använder vi PETG, Nylon, ABS i den ordningen i Zyxx skrivaren. Övrigt så använder vi även Ultem 9085 men det har vi bara i våran Fortus skrivare. vi har fyra olika 3D skrivare på våran konstruktions avd det är: ZYYX Pro II, Flashforge Creator 4, Ultimaker s5 och Stratasy Fortus 450mc. Svårt att säga hur mycket vi använder men det är mycket av varje som PLA är det säkert minst 6-7 rullar i veckan på alla fyra skrivare när de går som mest men så har vi ibland ingen åtgång på några veckor.	Huvudsakligen PLA+ (ZYYX +) 4kg/år och ZYYX Carbon (ZYYX Pro) 4kg/år, ibland annat t.ex Flex 2kg/år, ASA, mm	ProCarbon 1-2 Kg/år. PLA 2-3 Kg/år. ABS, ASA 1-2 Kg/år. Flex60D och NinjaFlex 0,5 - 1 Kg/år
Har ni någonsin haft problem med förstörda filamentrullar, och i såna fall hur? Har detta påverkat eran printprocess?	Nej. Vad det gäller hela rullar. Filemantet i sig. En del problem med att trådarna går av och printprocessen fortgår utan filament.	Ja. Det blir ju avbrott i utskriften o det är ju tråkigt om man har kört över helgen på en långkörning. Men det är ju när man har slarvat o inte lagt i rullen i en vakuumpåse eller liknande.	Nej	Har vid ett tillfälle upplevt knölar på filament (PLA) som medfört att filamentet inte kunde passera matningen. Detta var vid ett tillfälle för ett par år sedan. I övrigt inga upplevda problem med filamentrullar
Hur förvarar ni filamenten innan, under och efter användning?	Innan i förpackningen, under och efter på maskinen	Innan ligger de i lådan som kommer från leverantören som förvarats i ett skåp inte urtagen ur emballaget. Under så är den ju i skrivaren men ibland är det ju så att vi köper rullar med filament från annan leverantör än Zyxx så då är ju rullen större o då ställer vi den utanför skrivaren. Efter användning så använder vi vakuumpåsar som vi drar ihop med en vacuummaskin samma som man använder till mat mm.	I vakuumpåse, i skrivaren (Carbon) eller separat torklåda, (PLA+), i vakuumpåse	Långtidsförvaring i täta påsar (Upplever dock att påsarna över tid släpper in luft och vacuumprocessen måste göras om). Under användning i skrivarens kammare eller i de fall rullarna inte passar i filamenthållaren inne i kammaren så förvaras de på extern filamenthållare eller i filamenttork.
Om ni hade varit intresserade av en förvaringslösning för filament, Vad hade varit viktigast för er? ex. torkningsförmåga, plats för fler rullar, enkel att använda etc.	Upplever inget större problem med det. Men möjligen att trådarna blir spröda efter en tid av okänd orsak.	Torkningsförmåga, plats för fler rullar, enkel att använda etc. absolut allt detta men även om man kan ha den inbyggd i ett snyggt skåp. Då vi har våran Zyxx skrivare i ett kontorslandskap så behöver förvaringen vara tyst det kan ju vara svårt att få till. Men för de skrivare som vi använder i våran verkstad så spelar det ju inte så stor roll om det låter lite.	Torkningsförmåga, 2 rullar räcker, snabb torkning	Torkning innan och under användning är önskvärt. Plats för flera rullar kan vara bra men är inte nödvändigt. I det fall påsar används för förvaring är det önskvärt att det blir enklare att tömma påsarna på luft. Det kan vara lite trickigt att få ut luften med nuvarande metod.

Bilaga 2. Kravspecifikation

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation				
	Projekt	Exjobb - Filamentförvaring				
		Skapad: 2024-06-10				
		Modifierad:				
Kriterier		Målvärde	K/Ö	Vikt	Verifieringsmetod	Referens (kravställare)
0. Funktioner						
	Huvudfunktioner:					
0.1	Temperaturreglering	Höj och sänkbar Temperatur på Filamentet	K	-	Test	Zyyxlabs
0.2	Filamentvakt	En utsignal på om filamentet är slut.	Ö	2	Test	Zyyxlabs
0.3	Aktiv avfuktningsteknik	En stegvis applicerbar torkfunktion för filamentet, inte enbart genom värmande	K	-	Test	Zyyxlabs
1. Prestanda						
1.1	Torkeffekt	torka omgivande luft till mindre än 10 % RH (Relative Humidity)	K	-	Test, fuktmätare	Projektets Författare
1.2	Minsta uppvärmningsförmåga	minst 70° C på omgivande luft	K	-	Test, Temperaturmätare	Zyyxlabs
1.3	Modularitet	Klara 2 olika rullestorlekar samtidigt	K	-	Test	Zyyxlabs
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	90 °C	Ö	3	Test	
1.5	Jämn temperatur	Låg temperatur skillnad (5 °C max)	Ö	3	Test	
1.6	Upplösning mätfunktion	1-100%, +/- 1%	Ö	4	Test	Zyyxlabs
2. Livslängd						
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	3 år	Ö	2	Beräkningar	Projektets Författare
3. Storlek						
3.1	Rullestorlek	Klara 3 kg	K	-	Test	Zyyxlabs
3.2	Antal rullar	Fler än 1, enkelt skalbart	K	-	Test	Zyyxlabs
4. Ergonomi						
4.1	Byte av rulle	Enkel och bekväm	Ö	3	Test, Objektiv	Zyyxlabs
4.2	Matning av tråd	Enkel och bekväm	Ö	3	Test, Objektiv	Zyyxlabs
4.3	Användarvänlig	Enkelt att få respons	Ö	3	Test, Objektiv	Zyyxlabs
5. Säkerhet						
5.1	Skydd mot brännskada	Värmeelement ej åtkomligt under drift	Ö	3	Test	Projektets Författare
5.2	Skydd mot elektriska stötar	Inga exponerade elektriska ledare i filamentutrymmet	Ö	3	Test, Multimeter	Projektet Författare
6. Miljö och hållbarhet						
6.1	Miljömässigt hållbar	Miljömässigt hållbar design i jämförelse med marknadens existerande produkter	Ö	3	Undersökning	Projektets Författare
6.2	Strömförbrukning	Hela systemet <500W maxeffekt	Ö	3	Test, Multimeter	
7. Estetik och ytfinish					0.0	
7.1	Designspråk	Möta Zyyxlabs övriga produktlinje	Ö	4	Visuell Verifikation, Zyyxlabs	Zyyxlabs
8. Material						
8.1	Strukturellt material	Plåt	Ö	3	Visuell kontroll	Zyyxlabs
9. Tidsschema						
9.1	Planeringstider och leveranser	Enligt Gantt-Schema	K	-		Chalmers, Projektets Författare

Bilaga 3. Elimineringssmatrix

#	Kravuppfyllelse									Beslut
	Krav 0.1	Krav 0.3	Krav 1.1	Krav 1.2	Krav 1.4	Krav 3.1	Krav 3.2	Krav 6.1	Krav 8.1	
Lösning 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 3	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Behåll
Lösning 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 6	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 9	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 12	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 15	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Behåll
Lösning 17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 18	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 21	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 24	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 26	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 27	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 29	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 30	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 32	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 33	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 34	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 35	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Förkasta
Lösning 36	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 37	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 38	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 39	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 40	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 41	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 42	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 43	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 44	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 46	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta
Lösning 47	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	Förkasta
Lösning 48	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	Förkasta

Bilaga 4. Matrisresultat

Pugh

#1	Kriterium	Alternativ					
		L. 1	L. 4	L. 7	L. 10	L. 13	L. 16
0.2	Filamentvakt	R	0	0	0	0	0
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	E	+	0	0	+	0
1.5	Jämn temperatur	F	+	+	0	+	+
1.6	Upplösning mätfunktion	E	0	0	0	0	0
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	R	+	+	0	+	+
4.1	Byte av rulle	E	0	0	0	0	0
4.2	Matning av tråd	N	+	+	+	+	+
4.3	Användarvänlig	S	+	0	+	+	+
5.1	Skydd mot brännskada		0	0	0	0	0
5.2	Skydd mot elektriska stötar		0	0	0	0	0
6.2	Strömförbrukning		-	+	0	-	+
7.1	Designspråk		0	0	0	0	0
8.1	Strukturellt material		+	+	0	+	+
	Sum +		6	5	3	7	7
	Sum 0		7	8	10	5	6
	Sum -		1	0	0	1	0
	Nettovärde		4	5	3	5	7
	Rangordning		3	2	4	2	1
	Vidareutveckling?						

#2	Kriterium	Alternativ					
		L. 1	L. 4	L. 7	L. 10	L. 13	L. 16
0.2	Filamentvakt	0	0	0	0	0	R
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	-	-	0	-	-	E
1.5	Jämn temperatur	-	0	0	-	-	F
1.6	Upplösning mätfunktion	0	0	0	0	0	E
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	-	+	0	-	+	R
4.1	Byte av rulle	0	0	0	-	0	E
4.2	Matning av tråd	-	-	-	0	0	N
4.3	Användarvänlig	-	+	0	-	+	S
5.1	Skydd mot brännskada	0	0	0	0	0	
5.2	Skydd mot elektriska stötar	0	0	0	0	0	
6.2	Strömförbrukning	-	-	0	-	-	
7.1	Designspråk	0	0	0	0	0	
8.1	Strukturellt material	-	+	0	-	+	
	Sum +	0	3	0	0	3	
	Sum 0	6	7	12	6	7	
	Sum -	7	3	1	7	3	
	Nettovärde	-7	0	-1	-7	0	
	Rangordning	3	1	2	3	1	
	Vidareutveckling?	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	

#3	Kriterium	Alternativ					
		L. 1	L. 4	L. 7	L. 10	L. 13	L. 16
0.2	Filamentvakt	0	0	0	0	R	0
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	0	0	+	-	E	-
1.5	Jämn temperatur	-	0	+	-	F	+
1.6	Upplösning mätfunktion	0	0	0	0	E	0
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	-	0	-	-	R	-
4.1	Byte av rulle	-	0	0	-	E	0
4.2	Matning av tråd	-	0	-	-	N	-
4.3	Användarvänlig	-	0	-	-	S	-
5.1	Skydd mot brännskada	0	0	0	0		0
5.2	Skydd mot elektriska stötar	0	0	0	0		0
6.2	Strömförbrukning	-	0	-	-		-
7.1	Designspråk	0	0	0	0		0
8.1	Strukturellt material	-	0	+	-		+
	Sum +	0	0	3	0	2	
	Sum 0	6	13	6	5	6	
	Sum -	7	0	4	8	5	
	Nettovärde	-7	0	-1	-8	-3	
	Rangordning	4	1	2	5	3	
	Vidareutveckling?	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	

Kesselring

#	w*v*t	Alternativ							
		Lösning 4		Lösning 13		Lösning 16			
Kriterium		w	v	t	v	t	v	t	
0.2	Filamentvakt	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.4	Maximal uppvärmningsförmåga	0,08	5,00	0,38	5,00	0,38	5,00	0,38	5,00
1.5	Jämn temperatur	0,08	3,00	0,23	3,00	0,23	4,00	0,31	
1.6	Upplösning mätfunktion	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.1	Kontinuerlig användning full effekt	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4.1	Byte av rulle	0,08	4,00	0,31	4,00	0,31	3,00	0,23	
4.2	Matning av tråd	0,08	2,00	0,15	4,00	0,31	4,00	0,31	
4.3	Användarvänlig	0,08	3,00	0,23	3,00	0,23	2,00	0,15	
5.1	Skydd mot brännskada	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5.2	Skydd mot elektriska stötar	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6.2	Strömförbrukning	0,08	3,00	0,23	2,00	0,15	2,00	0,15	
7.1	Designspråk	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8.1	Strukturellt material	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Summa			1,54		1,62		1,54	
	Relativ Summa			1,00		1,00		1,00	

Filamentvakt	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Designspråk	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Maximal Uppvärmningsförmåga	
Temperatur	Betyg
70 < 75 °C	1
75 < 80 °C	2
85 < 90 °C	3
90 < 95 °C	4
100 < °C	5

Matning av tråd	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Jämn Temperatur	
Temp. Skillnad	Betyg
15 > 12 °C	1
12 > 8 °C	2
8 > 5 °C	3
5 > 3 °C	4
> 3 °C	5

Användarvänlig	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Upplösning Mätfunktion	
% - känslighet	Betyg
10	1
5	2
1	3
<1	4
<0,1	5

Skydd mot elektroniska stötar	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Kontinuerlig användning full effekt	
Antal år	Betyg
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

Strömförbrukning	
W (Genomsnitt)	Betyg
1000	1
600 < 1000	2
400 < 600	3
200 < 400	4
0 < 200	5

Byte av rulle	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Strukturellt material	
Subjektivt	Betyg
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

Bilaga 5. Komponentlista

#	Komponentnamn	Typ	Mängd	Material	Anskaffning	Ritningsunderlag
1	Bottenplatta	Struktur	1 st	Plåt	Tillverkas	Ja
2	Kortsida	Struktur	2 st	Plåt	Tillverkas	Ja
3	Baksida	Struktur	1 st	Plåt	Tillverkas	Ja
4	Framsida	Struktur	1 st	Plåt	Tillverkas	Ja
5	Plexiglas fram.	Struktur	1 st	Plexiglas	Tillverkas	Ja
6	Plexiglas topp	Struktur	1 st	Plexiglas	Tillverkas	Ja
7	Topp	Struktur	1 st	Plåt	Tillverkas	Ja
8	Dessicantrotor	Torkning	1 st	Plast	Printas	CAD
9	Fläns	Torkning	2 st	Plast	Printas	CAD
10	Vinkel	Torkning	2 st	Plast	Printas	CAD
11	Mellanlägg	Struktur	1 st	Plåt	Tillverkas	Ja
12	Skiva Rot. Ax.	Matning	6st	Plast	Printas	CAD
13	Stång Rot. Ax	Matning	4 st	Plåt	-	Ja
14	Kugg	Torkning	1 st	Plast	Printas	CAD
15	Motor	Torkning	1 st	-	Given	-
16	Fläktar	Torkning/Värme	3 st	-	Given	-
17	MKS Gen L	Reglering	1 st	-	Given	-
18	Display	Reglering	1 st	-	Given	-
19	Nätaggregat	Reglering	1 st	-	Given	-
20	PTC-värmare	Värme	2 st	-	Given	-
21	Gångjärn	Struktur	2 st	-	Given	-
22	Alu-nät Dec.rot.	Torkning	1 st	aluminium	-	-
23	Knappar	Reglering	3 st	-	-	-
24	Dessicant	Torkning	100 g	Dessicantkolor	Given	-
25	Tempsensor	Reglering	1 st	-	-	-
26	Fuktsensor	Reglering	1 st	-	-	-
27	Kablar	Reglering	-	Isolerade kablar	Given	-
28	Isolering	Struktur	-	Isolering	Given	-

Bilaga 6. Testresultat

Test 1 Utan Desiccant													
Storhet:	Time:	Temp 1	Temp 2	Temp 3	RH 1	RH 2	PTC1	PTC2	Desiccant	Fan1	Fan2	Stage	
Enhet:	Minuter	°C	°C	°C	%	%	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	(1 eller 2)
	0	26	27	28	46	31	1	1	0	1	1	1	1
	5	31	36	58	35	27	0	0	1	1	1	1	2
	10	36	42	56	25	19	1	0	1	1	1	1	2
	15	40	46	59	20	13	0	0	1	1	1	1	2
	20	42	48	57	17	10	0	0	1	1	1	1	2
	25	43	49	58	16	10	0	0	1	1	1	1	2
	30	43	50	56	13	10	0	1	1	1	1	1	2
	35	43	51	55	13	10	0	1	1	1	1	1	2
	40	44	51	55	12	10	0	1	1	1	1	1	2
	45	44	51	55	12	10	0	1	0	1	1	1	2
	50	44	52	54	11	10	1	0	1	1	1	1	2

Test 2 Med Desiccant													
Storhet:	Time:	Temp 1	Temp 2	Temp 3	RH 1	RH 2	PTC1	PTC2	Desiccant	Fan1	Fan2	Stage	
Enhet:	Minuter	°C	°C	°C	%	%	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	(1 eller 2)
	0	27	28	30	40	33	1	1	0	1	1	1	1
	5	29	37	56	31	25	0	1	1	1	1	1	2
	10	35	42	60	30	16	0	0	1	1	1	1	2
	15	36	46	56	26	13	0	1	1	1	1	1	2
	20	39	48	56	28	10	0	1	1	1	1	1	2
	25	40	49	56	22	10	1	0	1	1	1	1	2
	30	42	50	60	20	10	0	0	1	1	1	1	2
	35	42	51	56	19	10	0	1	1	1	1	1	2
	40	42	51	57	19	10	1	0	1	1	1	1	2
	45	42	51	58	17	10	0	0	1	1	1	1	2
	50	42	50	58	18	10	0	0	1	1	1	1	2

Test 3 - utan Desiccant													
Storhet:	Time:	Rotation	Temp 3	Vikt K.E	Vikt Fukt.	RH 1	RH 2	PTC1	PTC2	Desiccant	Fan1	Fan2	Stage
Enhet:	H:M:S	°C	°C	Gram (g)	Gram (g)	%	%	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	PÅ=1	(1 eller 2)
	00:00:05		27	23	-5	41	38	1	1	0	1	1	1
	00:30:00		58	21	-7	10	13	0	0	1	1	1	2
	01:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	54	20	-8	10	10	1	0	1	1	1	2
	01:30:00		58	18	-10	10	10	0	0	1	1	1	2
	02:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	59	17	-11	10	10	0	0	0	1	1	2
	02:30:00		59	15	-13	19	10	0	0	1	1	1	2
	03:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	59	15	-13	10	10	0	0	1	1	1	2
	03:30:00		57	13	-15	10	10	0	0	1	1	1	2
	04:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	55	13	-15	10	10	0	1	1	1	1	2
	04:30:00		57	11	-17	14	10	0	0	1	1	1	2
	05:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	57	11	-17	16	10	0	1	1	1	1	2
	05:30:00		57	10	-18	21	10	1	0	1	1	1	2
	06:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	56	9	-19	21	10	0	1	0	1	1	2
	06:30:00		59	9	-19	12	10	0	1	0	1	1	2
	07:00:00	<input checked="" type="checkbox"/>	57	7	-21	10	10	0	1	0	1	1	2
	07:30:00		59	6	-22	10	10	0	1	0	1	1	2

Test 4 - utan Desiccant							
Storhet:	Time:	Rotation	Temp 3	Vikt K.E	Vikt Fukt.	RH 1	RH 2
Enhet:	H:M:S	°C	°C	Gram (g)	Gram (g)	%	%
	00:00:05	-		23	-5	-	57%
	00:30:00	-	58	20	-8	-	37%
	01:00:00	-	55	18	-10	-	29%
	01:30:00	-	53	16	-12	-	27%
	02:00:00	-	55	14	-14	-	24%
	02:30:00	-	54	12	-16	-	24%
	03:00:00	-	55	11	-17	-	24%

