



CHALMERS



# Utvärdering av olika torkmetoder för torkning av filament till 3D skrivare för hemmabruk

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik

ANTON LUNDH

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



# **Utvärdering av olika torkmetoder för torkning av filament till 3D skrivare för hemmabruk**

ANTON LUNDH

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023

**Utvärdering av olika torkmetoder för torkning av filament till 3D skrivare för hemmabruk.**

ANTON LUNDH

© ANTON LUNDH, 2023

Institutionen för Industri- och materialvetenskap  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Sverige  
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Bild på hur det såg ut när olika egenbyggda torkkoncept testades.

Göteborg, Sverige 2023

## **SAMMANFATTNING**

Detta arbetet är utfört på uppdrag från add:north som är ett svenskt företag som tillverkar filament till 3D skrivare. Filament är små plastkulor som har extruderats till en specifik diameter med mycket höga toleranser för användning till 3D skrivare. Då det finns plaster som används till filament som är mycket hygroskopiska (bra på att ta upp fukt från luften), så måste en del filament torkas för att de inte ska få avsevärt sämre utskriftsegenskaper. Exempel på sådana är bubblor på utskriftens yta eller små strängar mellan de olika utskrivna delarna.

Arbetets syfte är att undersöka vilka uppsättningar av komponenter för hemmabruk som resulterar i torrast filament på sex timmar i en kammare som är uppvärmd till 70 °C, samt undersöka ifall det är möjligt att designa en tork som är mer effektiv än de som finns på marknaden idag. För att avgöra detta så används en fuktmätare som mäter fukten i plasten genom att värma upp den till 120 °C i fyra timmar och under tiden mäta viktförändringen på plasten. Detta ger då ett tal på hur mycket fukt som har försvunnit från plasten. Filamentet som används till dessa testerna är ett filament som enligt add:north ska vara extra hygroskopiskt. För att jämföra de påkomna lösningarna med de torkar som finns på marknaden idag så testas även två vanliga torkar som brukar användas för att torka filament, enligt samma principer.

Resultatet på arbetet visar att det är fullt möjligt att ta fram en tork som är bättre än de som existerar på marknaden idag. Den torklösningen som arbetet fann var bättre än den bästa kommersiella lösningen som testades, använde två silikonvärmeelement med dimensionerna 150x50 mm och en fläkt. Den egenbyggda torklösningen resulterade i en torkning som gav ett 43 % torrare filament än den bästa testade kommersiella lösningen.

Nyckelord: Torkning, Filament, 3D Skrivare, Fuktmätning

## **ABSTRACT**

This work was conducted on behalf of add:north, which is a Swedish company that manufactures filament for 3D printers. Filaments are small plastic balls that have been extruded to a specific diameter with very high tolerances for use in 3D printers. As there are filaments that are very hygroscopic (good at absorbing moisture from the air), some filaments must be dried so that they do not have significantly worse printing properties than their dry counter parts. Examples of such artifacts caused by moisture are bubbles on the prints surface or small plastic strings in-between the different printed parts.

The purpose of the report is to investigate which components for home-use that will result in the driest filament in six hours in a chamber heated to 70 °C, and to investigate if it is possible to design a filament dryer that is more efficient than what is available on the market today. To determine this, a moisture meter is used to measure the moisture in the plastic by heating it to 120 °C for four hours and meanwhile measuring the change in weight of the plastic. This then gives a number for how much moisture has been removed from the plastic. The filaments used for these tests is a filament, which according to add:north should be extra hygroscopic. The different solutions that are designed during this report will be compared with two dryers commonly used for drying filament, according to the same principles.

The result of the work shows that it is entirely possible to develop a dryer that is better than those that exist on the market today. The drying solution that was found to work the best was better than the best commercial solution tested. It contained two 150x50mm silicone heating elements and a fan. It resulted in a 43 % drier filament than the best tested commercial solution.

Keywords: Drying, Filament, 3D Printers, Moisture measuring

## Förord

Detta är ett examensarbete utfört av en högskoleingenjörstudent på Mekanikprogrammet på Chalmers tekniska högskola. Arbetets omfattning är 15 hp och utfördes under 20 veckor på vårterminen 2023 vid institutionen för Industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola.

Jag vill tacka Torbjörn Ylipää för att ha agerat examinator och handledare för rapporten. add:north Sverige AB för problemställningen och Eric Bengtsson på add:north för hjälp under arbetets gång. K.D. Feddersen Plastic Machinery AB (tidigare K.D. Feddersen Norden AB) för hjälp med hur torkning av plast sker ute i industrin, support kring fuktmätning och sponsring av torkmedel till projektet. Ett särskilt tack till Magnus Lundh och Fredrik Persson på K.D. Feddersen Plastic Machinery AB.

Arbetet hade varit mycket jobbigare att utföra om inte Sven Ekered, Anders Karlsson, Jonatan Svensson, Maxemilian Lundin och Felix Sjöberg inte hade funnits där som bollplank för idéer, med förbättringsförslag, i frågesättningar av mina idéer och alltid villiga att låna ut en extra hand när mina inte räckte till. Sven Ekered ska också ha ett extra tack för utlåning av verktyg och material som saknats. Ett extra tack ska också Lindholmens Makerspace ha för utlåning av komponenter, lokal och utrustning, vilket har underlättat arbetet avsevärt.

Jag vill också passa på att tacka min familj för all stötning under mina tre år på Chalmers!

## Innehållsförteckning:

1. Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Precisering av frågeställning.....	1
1.4 Avgränsningar .....	2
2. Teoretisk referensram .....	3
2.1 Fukt i plast.....	3
2.1.1 Fuktig plastics egenskaper .....	3
2.1.2 Hur torkas plast? .....	3
2.1.2.1 Värmetork .....	3
2.1.2.2 Varmluftstork .....	3
2.1.2.3 Torrbox.....	4
2.2 Komponenter för torkning .....	4
2.2.1 Värmeelement .....	4
2.2.2 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET).....	4
2.2.3 Fuktabsorbent.....	4
2.3 Mätutrustning .....	4
2.3.1 NodeMCU 0.9.....	4
2.3.2 Multiplexer (MUX).....	5
2.4 Fuktmätare - KERN DBS 60-3 .....	5
3. Metod .....	6
3.1 Förstudie.....	6
3.2 Elektronik.....	6
3.2.1 Värmeelement .....	6
3.2.2 Kontrollkort.....	7
3.3 Grunddelar i torkplattformen .....	8
3.3.1 Låda.....	8
3.3.2 Pegboard.....	9
3.3.3 Spolhållare .....	10
3.3.4 Granulathållare.....	11
3.3.5 Isolering .....	12
3.3.6 Använd torkabsorbent .....	12
3.4 Mätning av temperatur och fuktighet i torkarna och torkuppsättningarna.....	12
3.4.1 Komponenter.....	12
3.4.1.1 Styrkort.....	12
3.4.1.2 Temperatur och fuktighetsmätare .....	13

3.4.1.3 MUX .....	13
3.4.1.4 Skärm .....	13
3.4.2 Krets .....	14
3.4.3 Kod.....	14
3.4.4 Loggning av data.....	14
3.5 Testade torkar och torkuppsättningar.....	15
3.5.1 Torkuppsättning 1 .....	15
3.5.2 Torkuppsättning 2 .....	16
3.5.3 Torkuppsättning 3 .....	17
3.5.4 Torkuppsättning 4 .....	18
3.5.5 SUNLU FilaDryer S2.....	19
3.5.6 Menuett Frukt-/Svamptork.....	20
3.6 Fuktmätning .....	21
4. Resultat.....	22
4.1 Basvärde.....	22
4.2 Resultat från alla torktesterna .....	22
5. Diskussion och slutsats .....	24
5.1 Diskussion kring Torkuppsättning 1 Koncept 2 .....	24
5.2 Diskussion kring Torkuppsättning 2 och 3 kammartemperatur.....	24
5.3 Diskussion kring silikagels påverkan.....	24
5.4 Problem med temperatursensorerna.....	24
5.5 Diskussion av frågeställningar .....	25
5.6 Vidareutveckling.....	25
5.7 Slutsats .....	25
Referenser .....	26
Bilagor	



# 1. Introduktion

I detta kapitel presenteras grunderna för arbetet och vad som önskas uppnå med det.

## 1.1 Bakgrund

3D skrivare blir idag alltmer populära, detta gör att allt fler köper plast till sina 3D skrivare. Denna plast även kallad filament är plastgranulat (små plastkulor) som har blivit extruderade till en noggrant kontrollerad diameter. Precis som vanligt plastgranulat som används till bland annat formsprutning så behöver en hel del filament vara torra för att inte få försämrade egenskaper.

Vanliga plaster som används till 3D utskriften är bland annat PLA, PETG, TPU och PA (Nylon), där alla förutom PLA får märkbart försämrade egenskaper när de blir fuktiga. Exempel på sådana är att när det börjar bli lite fuktigt så kan små plaststrängar mellan de olika delarna som skrivs ut uppstå och när det är mycket fuktigt så kan det bli som luftbubblor på utskriften.

För att motverka fukt i filament så kan man förvara det i återförslutningsbara påsar med någon fuktabsorbent som exempelvis kiselsyragel i folkmun kallad silikagel. När ett material redan har blivit fuktigt så är det smidigaste sättet att driva ur fukten att använda någon form av torkning. Vanligast när det kommer till filament är att man använder värme och låter rullen vara i den värmen i ett flertal timmar, enligt tillverkarens rekommendationer.

Detta arbete utförs på uppdrag utav add:north, de är en svensk filament tillverkare baserade i Ölsremma utanför Ulricehamn. De är Sveriges enda stora tillverkare av filament till 3D skrivare som producerar filamentet i Sverige, i deras stora utbud så hittas bland annat PLA, PETG, Nylon och TPU.

## 1.2 Syfte

Arbetets syfte är att undersöka vilka delar och komponenter som är viktigast när man bygger en tork, för att upp nå en så effektiv torkning som möjligt. För att kunna kvantifiera vad som ger bäst resultat så kommer olika komponenterna för torkning att testas. Detta genom att det först körs ett längre torktest med dem och sedan uppmäts fukthalten i det torkade filamentet med hjälp av en fuktmätare för plast. Anledning till varför add:north vill ha reda på detta är för att underlätta en potentiell framtagning av en egen tork för filament i framtiden.

## 1.3 Precisering av frågeställning

För att precisera vad arbetet ska leda till så ska arbetet försöka att svara på följande frågeställningar:

- Vad krävs för att torka filament så effektivt som möjligt med en egenbyggd lösning?
- Är det möjligt att göra en egenbyggd lösning bättre än en färdigbyggd?

## 1.4 Avgränsningar

För att minska arbetets storlek så görs några avgränsningar, dessa finns listade nedan.

- Vid framtagning av vilka delar och elektronik som ska användas så kommer delar som redan finns tillgängliga att användas istället för att nya delar köps in.
- För att bygga upp basvärden på hur andra torklösningar fungerar, så kommer två torkar som brukar användas för att torka filament testas. Valet av vilka och antalet är baserat på vad som finns att tillgå utan att behöva inhandlas.
- Då varje torktest och fuktmätning tar sex respektive fyra timmar och för att fuktmätningen använder en aluminiumskål som inte bör användas mer än en gång, så kommer antalet torkningar och tester på samma torklösning begränsas till två gånger.
- För att hålla det säkert att koppla så undersöks strömsnålare lösningar som inte drar mer än 72 Watt (24V 3A).
- Bara en sorts filament kommer att provas, då den tillhandahålls av add:north för syftet. Denna ska enligt add:north var extra känslig för fukt då den är tillverkad av återvunnet Nylon (PA) från fiskenät, vilket är mycket hygroskopiskt.

## 2. Teoretisk referensram

I detta kapitel presenteras data och information som är relaterade till projektet. Detta för att försöka skapa en bättre förståelse för arbetet och hur det utfördes.

### 2.1 Fukt i plast

Fukt kan ha en stor inverkan på kvalitén på 3D utskriften [1]. Något som bestämmer hur stor påverkan det har är plastens hygroskopiska egenskaper. Alla plaster är i någon utsträckning hygroskopiska, men bland de vanligaste sorterna så är det framför allt Nylon, PETG och TPU som är känsliga. Ifall filamentet har extra tillsatser så som kolfiber, växtfiber eller grafit så påverkar även dess hygroskopiska egenskaper utskriftskvalitén. Vilket innebär att ifall en har ett material som i vanliga fall inte behöver torkas typ PLA, så kan ett kolfiberfyllt PLA behöva torkas.

#### 2.1.1 Fuktig plasts egenskaper

Ett fuktigt filaments egenskaper när det används i en utskrift kan vara något eller några av följande:

- sämre lagervidhäftning;
- bubblor i ytan;
- smälttemperaturen på filamentet kan påverkas;
- glasomvandlingstemperatur på filamentet kan påverkas;
- det kan bli små tunna plaststrängar mellan de utskrivna detaljerna;
- plasten kan avge ett poppande ljud när det matas ut;
- det kan påverka färgen;
- utskriften kan vara porösare och därmed svagare;
- filamentets diameter kan öka, vilket kan leda till överextrudering och igensättningar i 3D skrivarens munstycke [2].

#### 2.1.2 Hur torkas plast?

Plast kan torkas på ett flertal sätt, men målet är alltid det samma, att skapa ett torrare alternativ för fukten att dras till [3, s. 130]. Detta kan bland annat uppnås antingen genom värme, någon form av fuktabsorbent eller genom att ändra lufttrycket.

##### 2.1.2.1 Värmetork

Värmetorkar fungerar genom att luften i en kammare där plasten befinner sig i värms upp med hjälp av någon form av värmeelement till en inställd temperatur, denna temperatur hålls i kammaren till dess att önskad tid uppnås och på så sätt så torkas plasten [4].

##### 2.1.2.2 Varmluftstork

En varmluftstork är precis som en varmluftsfunktionen på en ugn. Det är en kammare där plasten förvaras i, där luften som blåses in blir uppvärmd [3, s. 133]. Precis som värmetorken så hålls temperaturen i kammaren i en fördefinierad tid, och på det viset så torkas plasten.

### **2.1.2.3 Torrbox**

En torrbox är en lufttät låda där plasten förvaras i tillsammans med någon form av fuktabsorbent [5]. Absorbentens mening är att suga upp all fukt som finns i behållaren och plasten. Denna lösningen är helt passiv och kräver därmed ingen el.

## **2.2 Komponenter för torkning**

Här redogörs den teoretiska referensramen bakom några av de delarna som användes för att konstruera de olika torkuppsättningarna. De olika delarna användes för att testa hur dem påverkar hur torrt filamentet kan bli inom avgränsningarna.

### **2.2.1 Värmeelement**

Värmeelement är en komponent som genererar värme från elektricitet. Det finns ett flertal sorter av värmeelement, bland dessa finns silikonvärmare och PCB-värmeplattor. Silikonvärmare fungerar genom att en tråd eller en film med hög resistans inkapslas i silikon, vilket resulterar i mycket jämn värme över dess yta när de strömsätts [6]. En PCB-värmeplatta tillverkas genom att ett tunt lager koppar appliceras på till exempel en glasfiberskiva. En slinga görs i kopparen som slingrar sig fram och tillbaka över hela ytan [7]. Denna bana blir varm när den strömsätts, men har svårt att få en jämnvarm yta.

### **2.2.2 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)**

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor eller MOSFET som det brukar betecknas är en sorts halvledare som brukar användas som en strömbrytare i elektroniska komponenter [8]. En MOSFET har tre ben, de brukar kallas drain, gate och source. Genom att lägga en spänning på gate:n så tillåts strömmen att flöda mellan source:n och drain:en. Detta tillåter att man kan med en lägre spänning kontrollera en högre spänning. MOSFET:ar klarar av att hantera hög frekventa av och på stängningar vilket gör dem lämpliga för användning i till exempel en PID kontroller.

### **2.2.3 Fuktabsorbent**

En fuktabsorbent är ett ämne som är mycket hygroskopiskt, vilket innebär att det är mycket bra på att suga upp fukt i till exempel luften och därmed sänka luftfuktigheten [9]. Exempel på fuktabsorbenter är kalciumklorid, aktiverat aluminium och silikagel.

## **2.3 Mätutrustning**

Här redogörs funktionen för några av delarna som används för att mäta fuktigheten och temperaturen i torkarna, under tiden de körs.

### **2.3.1 NodeMCU 0.9**

För att kunna behandla datan från olika sensorer så används i detta arbete ett utvecklingskort av typen NodeMCU 0.9, detta utvecklingskortet är baserat på det populära ESP8266 chippet från Espressif som har inbyggd WiFi kapabilitet [10]. NodeMCU 0.9 använder 3.3 V logik och stödjer vanliga kommunikationsprotokoll som till exempel I2C och SPI. För att kunna programmera den så kan man använda till exempel Arduino IDE, vilket innebär att det finns många färdiga kodbibliotek och kodexempel att tillgå.

### **2.3.2 Multiplexer (MUX)**

En multiplexer är en elektrisk krets vars funktion är att kunna välja en specifik insignal från ett flertal, för att sedan skicka vidare denna insignal till en utgång [11]. För att välja vilken insignal man ska leda om till utsignalen används en eller flera selektorsignaler.

### **2.4 Fuktmätare - KERN DBS 60-3**

För att kunna avgöra hur mycket fukt som är i plasten som används till experimenten, så används en KERN DBS 60-3. Det är en fuktmätare som använder en 400w halogenlampa för att värma upp plasten till en inställd temperatur [12, s. 4]. För att med värmen som lampan genererar få plasten att avge fukten som finns i den. Detta gör den under ett bestämt tidsintervall och under tiden så mäter en våg med en noggrannhet på ett tusendels grams hur mycket vikten förändras. Att vikten förändras innebär att plasten har avgett sig vattenångor och genom det så räknar den ut en procentsats på hur mycket fukt som har försvunnit från plasten.

### 3. Metod

I metodkapitlet så beskrivs tillvägagångssättet som använts för att ta fram och testa alla de olika torkuppsättningarna.

#### 3.1 Förstudie

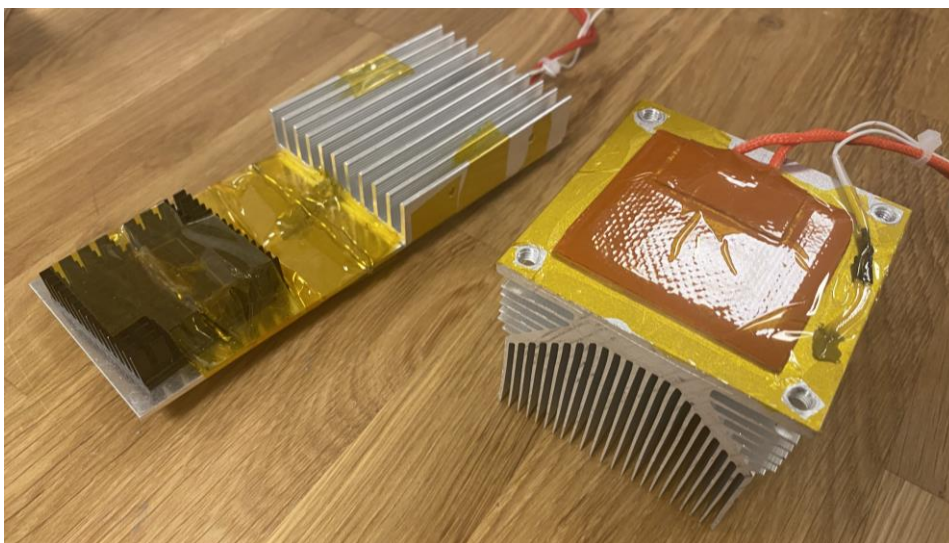
För att få en uppfattning om vad filamenttorkar brukar använda för torkmetoder för att torka filament gjordes det en förstudie. Denna gjordes genom att det kollades runt på olika marknadsplatser och återförsäljare av filament och 3D skrivare, då dessa ofta även säljer filamenttorkar. De torkar som hittades var oftast någon form av värmemetod, därefter så var det vanligast med luftvärmemetod, det fanns även några få torrboxar men dessa var ovanligare. I en del fall så var någon form av fuktabsorbent också integrerad i värmemetoderna och varmluftstorkarna.

#### 3.2 Elektronik

Förstudie identifierade tre olika torkalternativ, ett beslut togs att utreda samtliga tre alternativ: värmemetod, varmluftstork och torrbox. En närmare undersökning av vad de brukade bestå av visade att värmemetoder har något som genererar värme direkt i kammaren och varmluftstorkarna har något som genererar värme och skjuter in den varma luften i kammaren. En torrbox är helt annorlunda då de bara är en försluten låda med en fuktabsorbent i.

##### 3.2.1 Värmeelement

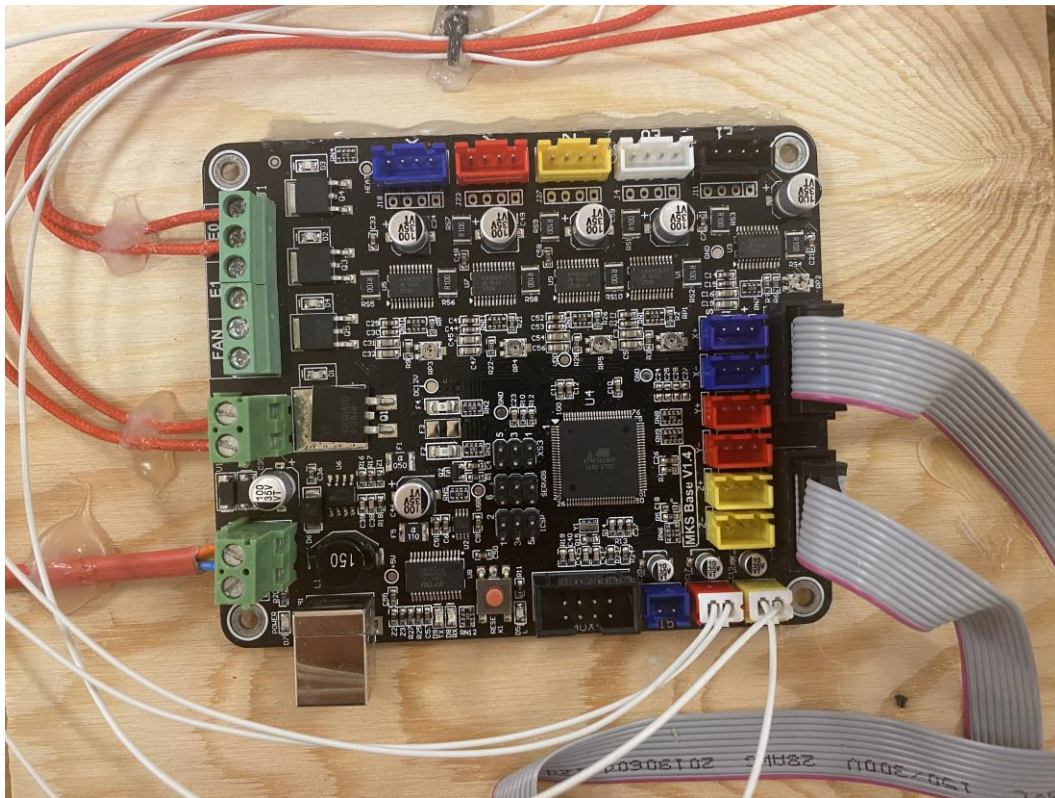
Detta innebar att för att testa olika torkkomponenter så behövdes någon form av värmeelement och styrenhet. För värmeelementen så valdes 24 volts silikonvärmare då de är mycket jämna i temperaturen och går att få tag på i många olika storlekar. De valda storlekarna landade på 150x50 mm och 50x50 mm. Dessa kan dra 0,4 W/cm<sup>2</sup>, vilket innebär att de stora kan dra 1,25 A och de små 0,42 A. För att fördela ut värmen på ett optimalt sätt så monterades silikonvärmarna först på en 2 mm tjock aluminiumplåt som var 10 mm bredare och längre än silikonvärmaren. På andra sidan av aluminiumplåten så fästes det kylflänsar och termistorer. Aluminiumplattan användes dock endast på 150mm värmeelementet då det inte fanns några kylflänsar som var tillräckligt stora till förfogande, vilket fanns för 50mm värmeelementet. För att ge bättre värmeöverföring så användes kylpasta mellan aluminiumplåten, kylflänsarna och termistorerna.



Figur 1 Ett 150x50 mm och ett 50x50 mm värmeelement förberedda för användning i ett torktest

### 3.2.2 Kontrollkort

För att styra värmeelementen undersöktes först möjligheten att bygga en egen krets med MOSFETs och dioder. Denna idé lades dock ner när komplexiteten i förhållande till fördelarna blev tydlig, därför togs beslutet att istället använda ett gammalt 3D skrivarmoderkort, ett MKS Base v1.4 som fanns till för fogande. Detta har redan MOSFET-kretsar som kan styra värmeelementen och läsa av termistorerna som monteras på värmeelementen. Detta drevs av ett bänknätaggregat med fyra kanaler. En kanal användes till MKS Base v1.4 som klarar 12V-24V, värmeelementen är dock 24V modeller så därför ställdes den kanalen in på 24V, i de andra kanalerna så sattes det in fläktar när testet krävde det och spänning till de kanalerna ställdes in i hänsyn till fläktarnas krävda spänning. På kontrollkortet kopplades värmeelementen och termistorerna in enligt bruksanvisningen.



Figur 2 Bild på MKS Base v1.4 med värmeelement och termistorer inpluggad för ett torktest

### 3.3 Grunddelar i torkplattformen

Torkplattformen som användes för att testa olika torkuppsättningar består av många olika delar, nedan finns de delarna som fanns med på alla de olika uppsättningarna förklarade.

#### 3.3.1 Låda

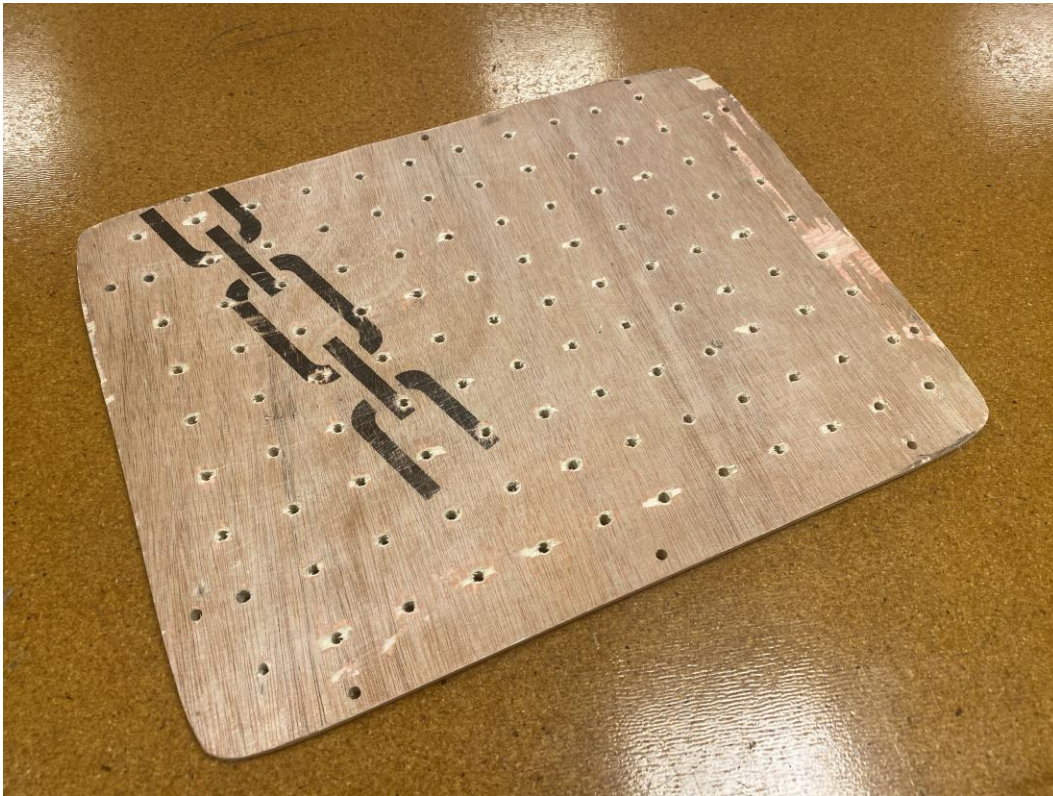
För att ta fram en plattform byggd för att kunna återskapa flera olika torkmetoder på en så kort tid som möjligt så gjordes valet att bygga den i en plastlåda. Plastlådan önskades ha innerdimensioner på cirka 300x230x80 mm för att kunna passa en vanlig filamentspole (cirka 200x200x60) och någon form av torklösning. Den hittade lådan var från Nordiska Plast Store It serie, den hade yttre dimensioner på 390x290x120 mm, vilket gav innerdimensioner som var 340x270x110 mm. För att låta den stå upp på högkant designades två fötter som anpassades efter vinkeln på lådan.



*Figur 3 Bild på lådan med fötterna påsatta*

### 3.3.2 Pegboard

För att tillåta många olika uppsättningar utan helt behöva bygga om lådan så byggdes det en "pegboard", vilket är en skiva med en massa hål i ett rutnät. Rutnätets storlek bestämdes till 25x25 mm och håldimensionerna till 4 mm för att tillåta en M3 skruv samt en viss felmarginal vid borrningen. Denna tillverkades i en spillbit plywood som fanns liggandes. Ytterligare några hål placerades runt ytterkanten, detta för att ge möjligheten att lätt fästa väggarna för den inre lådan, utan att vara beroende av rutnätet. Storleken på skivan anpassades till lådans storlek när det var cirka åtta centimeter kvar upp till kanten av plastlådan.



*Figur 4 Bild på pegboarden innan den monterades i lådan*

### 3.3.3 Spolhållare

För att kunna hålla filamentet på plats i boxen så designades en spolhållare, placeringen på denna anpassades efter att vara i mitten, förskjutet åt höger. Detta för att tillåta möjligheten att placera torkanordningar till vänster med en max bredd på 80 mm. Spolhållarens diameter anpassades efter add:norths rullar som har ett innerhål på 54 mm, detta för att se till så att rullen alltid hamnar i mitten av kammaren.



*Figur 5 Bild på spolhållaren när den är monterad i lådan*

### 3.3.4 Granulathållare

Då filamentet som tillhandahållits av add:north redan var uppkapat så det påminde om granulat, designades en specialhållare som monteras på en filamentrulle från add:north. Anledningen bakom detta var för att göra så att testerna påminner en verklig filamentrulle så mycket som möjligt. Vanligt filament användes ej, då det hade krävt att filamentet skulle klippas i mindre bitar innan fukttester skulle kunna göras. Granulathållaren är en bur som enkelt kan fyllas med granulatet, genom en öppning. För att göra "gallret" till buren så användes ett finmaskigt nät. Nätet limmades fast med superlim på en 3D utskriven hållare som sedan sattes fast på rullen.



Figur 6 Bild på ofylld granulathållare

### 3.3.5 Isolering

Då en plastback inte är bra på att hålla värme, så utformades isolering i kartong för att hålla värmen bättre. Kartong valdes då det är något som fanns lätt tillgängligt, samt man inte behöver oroa sig för alla nackdelar som till exempel glasfiberisolering eller frigolit har, med till exempel glasfiber i händerna eller frigolitsmulor överallt. Det finns dock ett problem med kartong och det är att det har en mycket hög fukthalt, en snabb fuktmätning på kartong visade att det innehåller minst 5 % fukt. För att förhindra att detta skulle påverka resultaten så lades kartongbitarna i vakuumpåsar som förseglades (ej med vakuum). Storleken på kartongbitarna anpassas efter glappet mellan den 3D utskrivna innerlådan och den köpta plastlådan.



Figur 7 Isolering innan den sattes på plats i lådan för ett torktest

### 3.3.6 Använd torkabsorbent

För de olika experimenten som krävde någon form av torkabsorbent så användes silikagel. Detta för att K.D. Feddersen Plastic Machinery AB (då K.D. Feddersen Norden AB) erbjöd sig att sponsra projektet med samma silikagel som de använder i sina plasttorkar.

## 3.4 Mätning av temperatur och fuktighet i torkarna och torkuppsättningarna

För att få en uppfattning på hur bra torkarna och torkuppsättningarna är på att hålla de temperaturerna som de ställs in på så byggdes en krets för att mäta av värmen och luftfuktigheten, denna sparade sedan dessa värden till en Raspberry Pi via en seriell länk. Vad denna består och hur den fungerar av finns beskrivet nedan.

### 3.4.1 Komponenter

För att mäta temperaturen och luftfuktigheten samt spara denna användes ett flertal olika komponenter, där ibland ett styrkort, fyra temperatur och fuktighetsmätare, en MUX och en skärm för utskrivning av värdena från sensorerna.

#### 3.4.1.1 Styrkort

För att läsa av de olika sensorerna och spara datan så valdes ett NodeMCU kort baserat på ESP8266, då det är billigt och erbjuder WiFi något som inte ett till exempel Arduino-kort erbjuder. Detta för att ha möjligheten att skicka värdena till en hemsida, för att lättare kunna se dem.

### 3.4.1.2 Temperatur och fuktighetsmätare

För att mäta av temperaturen och fuktigheten i torken och torkuppsättningarna så undersöktes ett flertal sensorer som skulle kunna uppfylla önskemålen om noggrann mätning. Slutkandidaterna bland dessa var Bosch BME280 och Sensirion SHT31. SHT31 erbjuder en temperatursprecision på  $\pm 0,2$  °C, en relativ luftfuktighetsprecision på  $\pm 2$  %, ingen möjlighet till att mäta lufttryck och klarar enligt Sensirion temperaturer mellan 0 °C och 90 °C till ett pris på 4,98 € [13]. BME280 erbjuder en temperatursprecision på  $\pm 0,5$  °C, en relativ luftfuktighetsprecision på  $\pm 3$  %, möjlighet till att mäta lufttryck och klarar enligt Bosch temperaturer mellan -40 °C och 85 °C till ett pris på 7,59 € [14]. Båda sensorerna kommunicerar med ett styrkort via I2C kommunikationsprotokollet. Valet landade i slutändan på Sensirion SHT31 då den ska enligt databladet erbjuda mer noggranna värden till ett lägre pris.

### 3.4.1.3 MUX

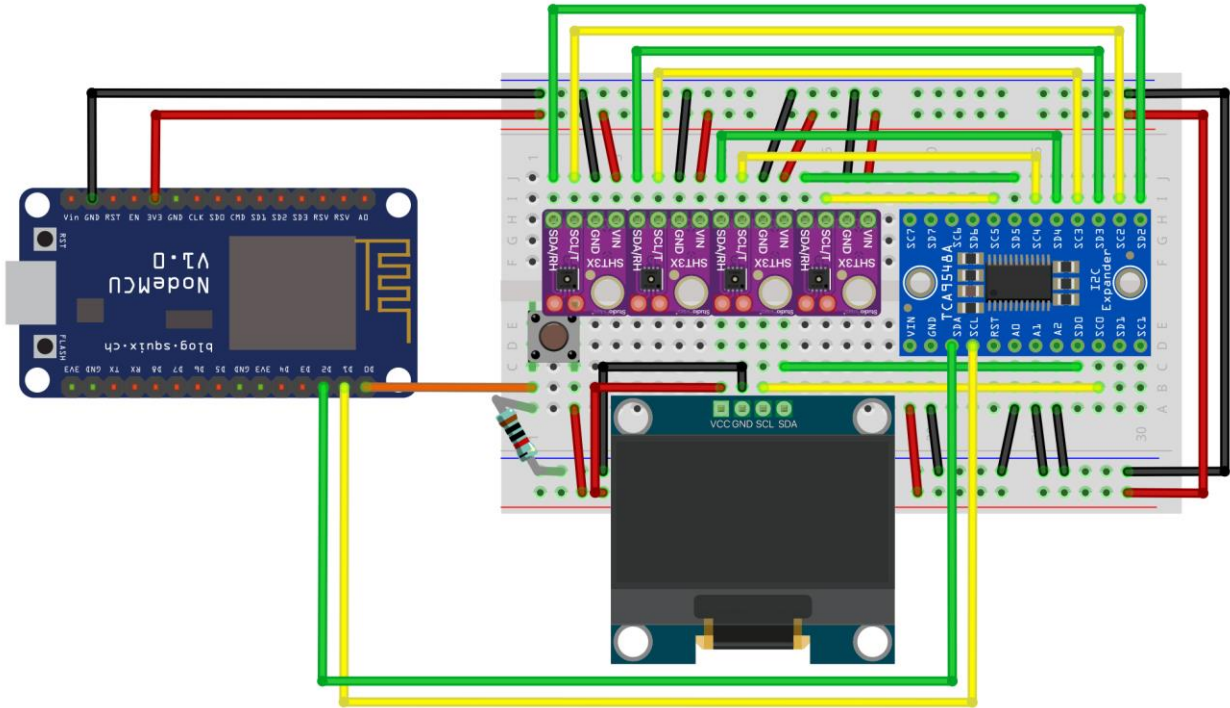
Då SHT31 kommunicerar via I2C protokollet, som kräver att de olika enheterna som är anslutna till I2C bussen har unika adresser, så måste en MUX användas för att de fyra SHT31 sensorerna har alla 0x44 som adress. De har samma adress då den förprogrammeras med det av tillverkaren för att förenkla implementering av deras enheter, då det inte är ofta man har flera av samma sort. MUX:en som valdes är en Texas TCA9548A då den är lätt tillgänglig och för att den är det populäraste valet när det kommer till MUX:ar för I2C bussen. Den har möjligheten att välja vilken av åtta stycken I2C enheter som den ska mata ut från sig, vilket den gör på adressen 0x70, om inte någon av de andra sju adresserna (0x71-0x77) väljs genom att ge A0, A1, A2 portarna olika kombinationer av logiska ettor och nollor [15].

### 3.4.1.4 Skärm

För att på ett smidigt sätt kunna läsa av temperaturen utan att kräva en dator under tiden testerna pågick användes en 1,3” OLED skärm av typen SH1306, som styrs via I2C protokollet. Då det är en OLED skärm så lades även en knapp till för att endast tända skärmen när det är nödvändigt för att inte riskera att få ”OLED burn-in” på den. Valet av skärmen gjordes på vad som är lätt att kontrollera, vilket en SH1306 är då den kommunicerar via I2C bussen, samt för att det fanns ett flertal sådana liggandes.

### 3.4.2 Krets

De olika komponenterna som nämnts ovan kopplades samman på ett kopplingsdäck, enligt kopplingsschemat som Figur 8 visar. För tre av SHT31 sensorerna så användes förlängningskablar för att kunna placera dem på lämpliga ställen i torken, den fjärde användes för att mäta rumstemperaturen.



Figur 8 Krettschema för temperatur- och fuktämning

### 3.4.3 Kod

Koden för att läsa av temperatursensorerna och sedan skriva dem till skärmen skrevs med hjälp av att använda guiderna för hur man använder de olika kodbiblioteken för styrning av TCA9548A, avläsning av SHT31:or och hur man skriver ut saker på en SH1106 skärm. För att göra så att värdena från SHT31 sensorerna sparas för efterbearbetning, så skrivs värdena ut till det seriella gränssnittet. Hur koden ser ut går att hitta i Bilaga 1.

### 3.4.4 Loggning av data

För att logga datan som skrivs ut seriellt via USB-kabeln användes en Raspberry Pi som körde Python-programmet Grabserial, med följande kommando: **`grabserial -v -d /dev/ttyUSB0 -B 115200 -T -R 1h -o "c:\log\%Y-%m-%dT%H-%M-%S.txt"`** Detta kommando sparar värdena från SHT31 sensorerna till en ny fil varje timme.

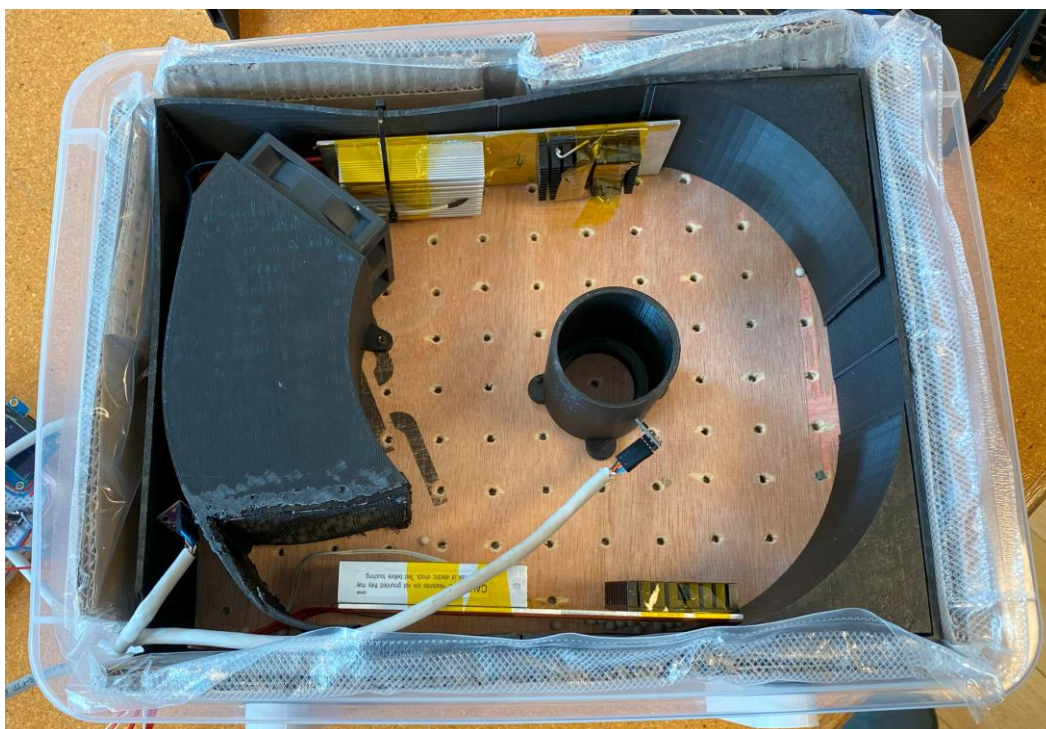
### 3.5 Testade torkar och torkuppsättningar

I detta delkapitel presenteras de olika färdigbyggda torkarna och de olika egenbyggda torkuppsättningarna.

#### 3.5.1 Torkuppsättning 1

Torkuppsättning 1 bygger på att man återanvänder luften i kammaren och inte tillför någon ny luft. Den är av typen aktiv värmestork, vilket innebär att det är värmestork med en fläkt som cirkulerar luften. Torkuppsättning 1 användes för att testa två olika koncept:

- Koncept 1: Värme, fläkt och silikagel
- Koncept 2: Värme och fläkt



Figur 9 Bild på Torkuppsättning 1, utan locket

Torkuppsättning 1 som kan ses i Figur 9, har en yttervägg som sitter fast i de yttersta hållen på pegboarden som är gjorda för ytterväggar. I lådan finns till vänster en stor behållare som kan fyllas med silikagel, för att silikagelen ska hållas på plats och fortfarande tillåta ett luftflöde igenom så sitter det ett nät i botten av behållaren. I toppen av behållaren sitter en 70 mm fläkt, denna blåser in luften i behållaren och genom silikagelen. För att ge luften som kommer ur behållaren bättre flöde till resten av lådan så sitter det två rundade hörnväggar på högersidan. Behållaren är lite svängd för att försöka ge ett bättre luftflöde genom lådan. För att värma lådan användes två 150x50 mm silikonvärmare, placerade uppe och nere precis intill silikagelbehållarens två öppningar. För att växla mellan Koncept 1 och 2 så hade silikagelbehållaren silikagel i sig när Koncept 1 testades och silikagelbehållaren var tom när Koncept 2 testades.

### 3.5.2 Torkuppsättning 2

Torkuppsättning 2 baserades på Torkuppsättning 1, den är av typen passiv värmestek. En bild på den kan ses i Figur 10.

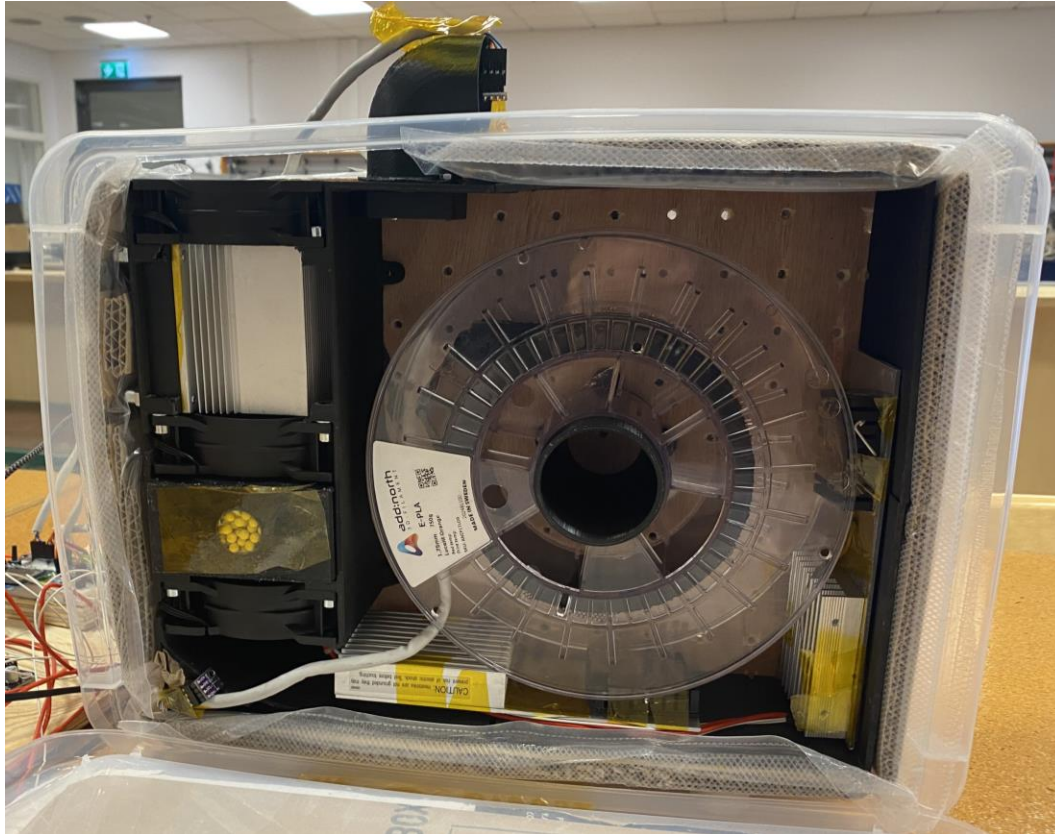


Figur 10 Bild på Torkuppsättning 2, med locket nerfällt

Skillnaden mellan den och Torkuppsättning 1 är att det extra utrymmet för att kunna testa torklösningar med fläkt och silikagel togs bort. Därmed flyttades vänster väggen in för att spara på värmen och filamentet som hade krävts om det skulle placerats mitt i lådan istället. Torkuppsättning 2 är av typen passiv värmestek. För att värma upp kammaren så användes två 150x50 mm värmeelement, ett placerat i botten och det andra på ovansidan av rullen.

### 3.5.3 Torkuppsättning 3

Torkuppsättning 3 är en kombination av aktiv värmestork och varmluftstork. Den har lite likheter med Torkuppsättning 1, med att den har plats för silikagel och fläktar, men den har ett inblås, utblås och ett extra värmeelement vilket kan ses i Figur 11.



Figur 11 Bild på Torkuppsättning 3, med locket nerfällt

I Figur 11 så kan man se hur Torkuppsättning 3 är utformad. Längst upp till vänster dras luft in genom en 80x80x25 mm fläkt, luften passerar sedan igenom en kylfläns som har en 50x50 mm silikonvärmare fastsatt på botten. Därefter dras luften vidare av ytterligare en 80x80x25 mm fläkt för att sedan passera genom en låda med silikagel i sig som har nät på båda sidorna för att tillåta enkla byten av silikagelen. Luften dras ur silikagellådan med en sista fläkt som trycker luften in i den stora lådan där filamentet som ska torkas är. Luften dras sedan ut av en 40x40x10 mm fläkt som sitter längst upp till vänster, för att förhindra att den fuktiga luften dras in i systemet igen så sitter det ett rör som leder luften åt höger på utblåset. Väggar som används till vänster i Torkuppsättning 3 är nya fast de som sitter till höger är fortfarande från Torkuppsättning 1.

### 3.5.4 Torkuppsättning 4

Torkuppsättning 4 är en torrbox, vilket kan ses i Figur 12.



*Figur 12 Bild på Torkkoncept 4 under ett torktest*

Som figuren visar så är det bara två återförslutningsbara filamentpåsar från add:north där filamentet och cirka 50 gram silikagel läggs i den innersta påsen.

### 3.5.5 SUNLU FilaDryer S2

SUNLU FilaDryer S2 är en passiv värmesticka, detta innebär att den torkar plasten genom att värma upp den till en inställd temperatur och sedan hålla den temperaturen i en bestämd tid [16]. SUNLU FilaDryer S2 tillåter en högsta temperatur på 70 °C, något som den uppnår med hjälp av två värmeelement som tillsammans nästan går 360 grader runt rullen, totalt så kan detta dra upp till 48 W.



*Figur 13 Bild på hur SUNLU FilaDryer S2 såg ut när den testades*

### 3.5.6 Menuett Frukt-/Svamptork

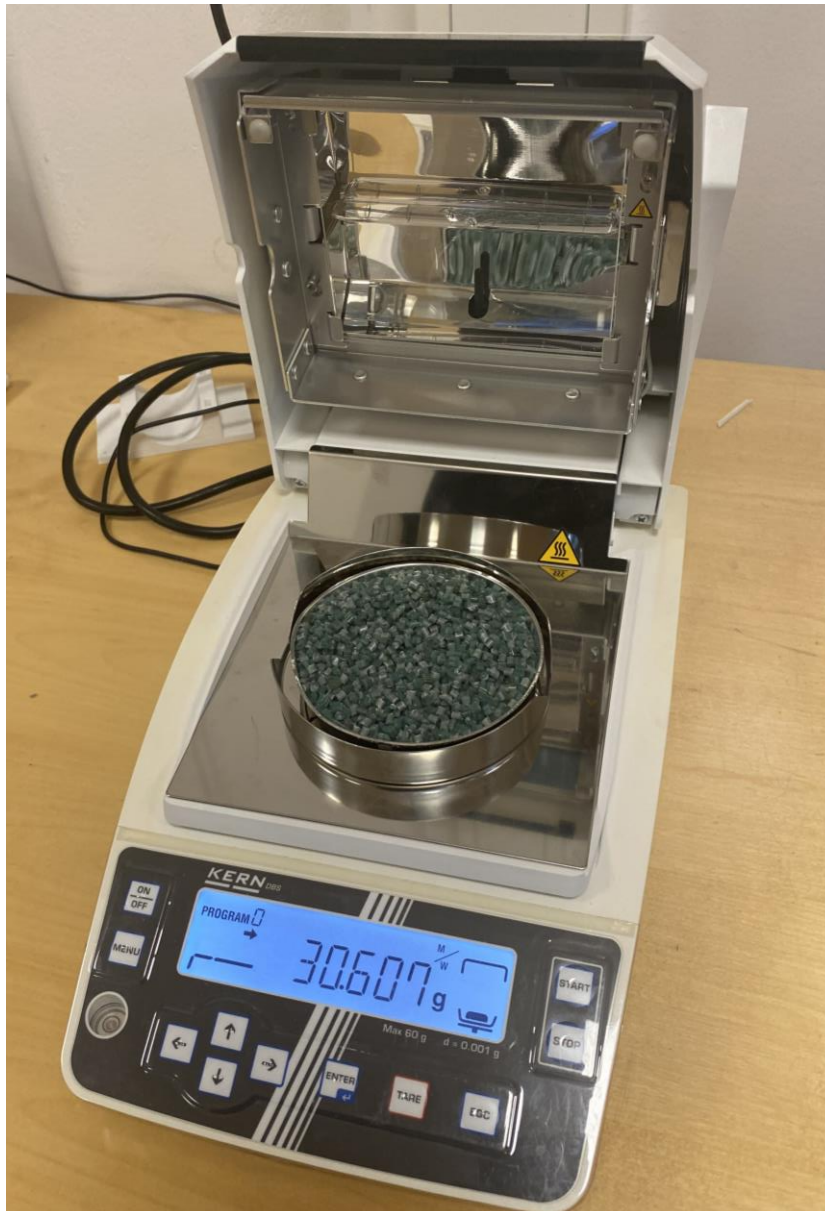
Menuett Frukt-/Svamptork är en varmluftstork som egentligen är gjord för att torka bland annat svamp, men genom att byta alla plastvåningarna förutom en som den kommer med mot en låda för en tårta, så har den byggts om till att torka filament. Detta gör den genom att den sprutar ut varmluft från ett hål i botten av torken, den varma luften kan justeras i temperatur och ställas in mellan 40 °C och 70 °C [17]. För att uppnå dessa temperaturer så drar den 250 W.



*Figur 14 Bild på hur det såg ut när Menuett Frukt-/Svamptork testades*

### 3.6 Fuktmätning

För att testa de olika torkarna och torkkomponenterna så torkades cirka 30 gram åt gången. Denna vikt är vad som rekommenderas av försäljaren av fuktmätaren, då en alltför låg mängd ger ett opålitligt resultat och en för stor mängd överfyller aluminiumskålen. Torkningen av filamentet bestämdes till sex timmar, då det är en vanlig tid för att torka filament. Efter filamentet har torkats i sex timmar så åker det snarast in i fuktmätaren där det körs i fyra timmar på 120 °C detta baserat på diskussion med försäljaren av fuktmätaren, då detta anses kunna ge ett så noggrant resultat som möjligt. Det resulterande talet på fukthalten efter fyra timmar i fuktmätaren antecknades och nästa test påbörjades. Denna process repeterades till dess att alla olika torkar och önskade uppsättningar var testade.



Figur 15 Fuktmätaren precis innan starten av en fuktmätning på ett filament från ett torktest

## 4. Resultat

I resultatdelen presenteras resultaten från de olika torktesterna i de olika torkarna och torkkoncepten.

### 4.1 Basvärde

För att etablera ett basvärde på torkarnas effektivitet så uppmättes fuktigheten på filamentet innan det torkades till 0,6 % i början av testfasen och till 0,68 % i slutet av testfasen. Detta visar att filamentet tagit upp 0,08 procentenheter fukt från luften under testfasen som varade i 21 dagar. Detta antogs varit linjärt för att kunna räkna ut hur mycket fukt det var i plasten vid de olika testerna och därmed få en mer korrekt uppfattning om effektiviteten på torkarna.

### 4.2 Resultat från alla torktesterna

Tabell 1 visar den insamlade datan från alla torktesterna. Torkarnasnamn har förkortats enligt följande:

- Torkuppsättning 1 Koncept 1 = T1 K1
- Torkuppsättning 1 Koncept 2 = T1 K2
- Torkuppsättning 2 = T2
- Torkuppsättning 3 = T3
- Torkuppsättning 4 = T4
- SUNLU FilaDryer S2 = SFDS2
- Menuett Frukt-/Svamptork = MFST

Tabell 1 Datan från alla torktesterna

	T1 K1		T1 K2		T2		T3		T4		SFDS2		MFST	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Testiteration														
Inställd torktemperatur	70 °C		70 °C		70 °C		70 °C		X		70 °C		70 °C	
Temperatur i torken	66 °C	66 °C	66 °C	68 °C	54 °C	49 °C	35 °C	42 °C	X	X	63 °C	67 °C	59 °C	58 °C
Temperatur i rummet i början av testet	24 °C	25 °C	24 °C	24 °C	23 °C	23 °C	24 °C	23 °C	25 °C	24 °C	24 °C	23 °C	23 °C	24 °C
Snitt-luftfuktighet i torken	5 %	8 %	10 %	9 %	17 %	17 %	17 %	18 %	X	X	21 %	17 %	10 %	10 %
Snitt-luftfuktighet i rummet	38 %	35 %	39 %	36 %	46 %	36 %	38 %	46 %	35 %	32 %	28 %	32 %	35 %	35 %
Torktid	cirka 6 h		cirka 6 h		cirka 6 h		ca 6 h	X	cirka 6 h		cirka 6 h		cirka 6 h	

	120 °C		120 °C		120 °C		120 °C		120 °C		120 °C		120 °C	
Fuktmätningstid	4 h		4 h		4 h		4 h		4 h		4 h		4 h	
Fukt i plasten före torkning	0,62 %	0,64 %	0,62 %	0,63 %	0,67 %	0,69 %	0,65 %	X	0,68 %	0,68 %	0,60 %	0,61 %	0,62 %	0,62 %
Fukt i plasten efter torkning	0,41 %	0,40 %	0,37 %	0,34 %	0,65 %	0,62 %	0,63 %	X	0,66 %	0,66 %	0,45 %	0,40 %	0,44 %	0,49 %
Förändring i fukt (Procentenheter)	0,21 %	0,24 %	0,25 %	0,29 %	0,02 %	0,07 %	0,02 %	X	0,02 %	0,02 %	0,15 %	0,21 %	0,18 %	0,13 %
Snittförändring i fukt (Procentenheter)	0,23 %		0,27 %		0,05 %		0,02 %		0,02 %		0,18 %		0,16 %	
Borttagen fukt	36 %		43 %		7 %		3 %		3 %		30 %		25 %	

SHT31 sensorgrafer	Bilaga 2	Bilaga 3	Bilaga 4	Bilaga 5	X	Bilaga 6	Bilaga 7
--------------------	----------	----------	----------	----------	---	----------	----------

Som tabellen visar så är datan från de två testiterationerna på alla testerna mycket lika varandra, dock så finns det några skillnader mellan dem vilket går att se på framför allt SFDS2 där temperaturen i torken skiljer sig med 4 °C mellan de två iterationerna. Alla testerna genomfördes till fullo förutom den andra iterationen av T3 då den aldrig skulle nå upp till den inställda temperaturen, då den höll på att plana utan redan vid 40 °C vilket kan ses i Bilaga 5. Detta resulterade i det dåliga torkresultatet på första iterationen av T3 som endast lyckades driva ut 3 % av fukten ur filamentet. Förmågan att nå 70 °C, var dock något som ingen av torkarna lyckas uppnå med, den som kom närmst var T1 K1/K2 med endast 4 °C ifrån och längst ifrån var T3 som på 37 °C.

Torken som resulterade i bäst torkning efter att filamentet varit i torken inställd på 70 °C i 6 timmar var T1 K2 med 43 % av fukten borttagen. Efter det så kom T1 K1 med 36 %, SFDS2 med 30 % och sen MFST med 25 %. De resterande testerna var längre ifrån de tidigare i mängden borttagen fukt med T2 på 7 %, och T3 och T4 på 3 % av fukten.

## 5. Diskussion och slutsats

I detta kapitel diskuteras arbetets resultat. Diskussionen baseras på resultatet, det tar även upp varför en del torkuppsättningar inte funkade som de skulle, svarar på frågeställningarna, potentiell vidareutveckling och slutsatsen av arbetet.

### 5.1 Diskussion kring Torkuppsättning 1 Koncept 2

Att Torkuppsättning 1 Koncept 2 blev det som torkade bäst, kom lite som en överraskning då det inte förväntades att en fläkt skulle kunna göra så stor skillnad mot en färdigbyggd lösning så som SUNLU FilaDryer S2. En möjlig anledning bakom detta skulle kunna vara att fläkten hjälper till att driva bort fukten från ytan snabbare eller att temperaturen överlag i kammaren blir jämnare.

### 5.2 Diskussion kring Torkuppsättning 2 och 3 kammartemperatur

Torkuppsättning 2 och 3 misslyckades båda att nå upp till 70 °C, Torkuppsättning 2 lyckades som högst nå 54 °C och Torkuppsättning 3 42 °C. För Torkuppsättning 3 så berodde detta på att det fanns både ett utblås och att värmeelementet som satt vid inblåset inte kunde producera tillräckligt mycket värme för att förse hela kammaren med varmluft. Om man jämför effekten på ett 50x50 mm värmeelement och Menuett Frukt-/Svamptork. Så drar värmeelementet 25 gånger mindre ström än Menuett Frukt-/Svamptorken, så för att kunna göra det här sorten av test så hade avgränsningarna behövt ändras för att tillåta mer effektkrävande komponenter. Att Torkuppsättning 2 inte lyckades nå upp i rätt temperatur lär ha berott på att värmen har svårt att lämna kylflänsarna då de är rätt tjocka, vilket luft som cirkulerar med hjälp av en fläkten kan hjälpa till med. Att SUNLU FilaDryer S2 lyckas med detta kan bero på att den använder tunnare metall och för att värmeelementen går runt hela rullen, vilket täcker en större area än två stycken 150x50 mm värmeelement gör.

### 5.3 Diskussion kring silikagels påverkan

Tanken med att använda silikagel för att öka torkningen i värmestorkarna misslyckades. Detta kan ses i faktumet att Torkuppsättning 1 Koncept 2 gav torrare filament än Torkuppsättning 1 Koncept 1 och enda skillnaden var att Koncept 1 hade silikagel i sig. Skillnaden i fukthalten i filamentet låg 7 procentenheter lägre när silikagel inte användes. En möjlig anledning till detta skulle kunna vara att trots att silikagelet torkades enligt försäljarens rekommendation innan användning så var inte all fukt utdriven och att kammarenstemperatur på 70 °C resulterade i att fukten drevs ur silikagelet i stället för att absorbera fukten. Så därför kan det vara aktuellt att testa andra torkmedel för att se vad som är mer optimalt för ändamålet, då silikagel har som högst effektivitet i rumstemperatur och inte när det är uppvärmt. Att silikagel kan ha en effekt på torkningen visade dock Torkuppsättning 4 då den lyckades sänka filamentets fuktighet med 3 % på sex timmar, så att använda det som ett preventivt skydd mot fukt är något som faktiskt fungerar.

### 5.4 Problem med temperatursensorerna

Sensirion SHT31 sensorerna som användes kom från två olika säljare på AliExpress, detta för att frakten började kosta mer än en sensor när fler än två beställdes, därför används två olika säljare. Att detta skulle resultera i några problem antogs inte, men när sensorerna anlände och började testas så upptäcktes det att de två såg lite olika ut, från den ena leverantören så var PCB:ns metall guldig och från den andra säljaren så var den silvrig. Detta borde inte varit något allvarligt men problemet var att sensorerna från samma säljare läste liknande temperatur- och fuktighetsvärden,

men jämfört med dem från den andra säljaren så skiljde temperaturen med 1 °C och luftfuktigheten med 3 %. Detta jobbades runt genom att endast använda värdena från SHT31 sensorerna från en av säljarna i resultatet.

## 5.5 Diskussion av frågeställningar

- *Vad krävs för att torka filament så effektivt som möjligt med en egenbyggd lösning?*

Testerna visade att det fanns en stor korrelation mellan hur varmt det var i torken och hur mycket fukt som lyckades driva ur filamentet. Att cirkulera luften med en fläkt hjälpte att producera torrare filament. En gissning till att fläkten hjälper är för att gör så att den varma luften sveps över filamentet och att "samma" luft inte konstant ligger emot filamentet. Varför en varmare kammare resulterar i effektivare torkning är lättare att förklara, det är för du kommer närmre filamentets glasomvandlingstemperatur, vilket också innebär att det är närmre vattnets aggregationstillstånd till ånga. Vilket gör så att vattnet lättare lämnar filamentet.

- *Är det möjligt att göra en egenbyggd lösning bättre än en färdigbyggd?*

Ja, testerna har till och med lyckats visa detta med två olika koncept, som båda lyckades producera bättre resultat än de båda två färdigbyggda lösningarna som testades. Dessa var Torkuppsättning 1 Koncept 1 och Torkuppsättning 1 Koncept 2, och de lyckades vara en avsevärd mängd bättre än SUNLU FilaDryer S2 och Menuett Frukt-/Svamptork.

## 5.6 Vidareutveckling

En intressant aspekt för att vidareutveckla arbetet hade varit att göra några fler torkuppsättningar. Det som framför allt hade varit intressant att testa hade varit att se ifall man kan bygga något som påminner om Torkuppsättning 1 Koncept 1, fast man på något sätt lyckas kyla luften innan den går över silikagelen, för att sedan värma upp den innan den går tillbaka in i kammaren. Detta för att lyckas utnyttja silikagelen för att torka luften och se ifall det kan ge ännu effektivare torkning.

En annan intressant aspekt hade varit att utforska ifall lådans volym har någon påverkan på hur torrt filamentet blir. Då desto mer volym som finns i lådan desto mer utrymme finns det för fukten att vara på som inte är i filamentet. Så att testa för att se ifall det finns något optimalt förhållande mellan torkeffektivitet och lådvolym. Dock så är det viktigt att komma ihåg att det kommer ta längre tid att värma upp en låda som är större, så det något som också påverkar resultatet.

## 5.7 Slutsats

Slutsatsen av detta arbete är att oavsett hur man torkar filament så blir resultatet mycket likt när man använder värme. Det finns några faktorer som påverkar resultatet dock och det är framför allt att desto högre temperatur i kammaren desto torrare blir det. Samt att ifall man lägger till en fläkt så blir det ännu torrare.

## Referenser

- [1] "How to improve your 3D-prints – Easily", *add:north*, 31 augusti 2022. [https://addnorth.se/knowledge/articles/How to improve your 3D-prints](https://addnorth.se/knowledge/articles/How%20to%20improve%20your%203D-prints) (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [2] L. Sultana, "Moisture and 3D Printing - Part 2 - Effects of Wet Filament", *Magigoo*, 30 november 2021. <https://magigoo.com/blog/moisture-and-3d-printing-part-2-effects-of-wet-filament/> (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [3] H.-E. Strömvall och M. Lundh, *Ställarhandboken*, 2:a uppl., vol. 2019. i Formsprutning helt enkelt, no. 1, vol. 2019. Polymercentrum Sverige AB, 2023.
- [4] S. Ekaran, "What Is a Filament Dryer and Why You Need One?", *MUO*, 14 mars 2023. <https://www.makeuseof.com/filament-dryer-why-you-need-one/> (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [5] T. Quan, "DIY Filament Dry Box: How to Build One on a Budget", *All3DP*, 06 maj 2023. <https://all3dp.com/2/diy-filament-dry-box-tutorial/> (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [6] "Heat Mats, Silicone & Micathermic Heaters | RS", *RS-Onlines*. <https://se.rs-online.com/web/c/automation-control-gear/process-control/heater-pads/> (åtkomstdatum 11 maj 2023).
- [7] "3D Printer HOT BED PCB Guide And Custom - Jhdpcb", *JHDPCB*, 08 februari 2023. <https://jhdpcb.com/hot-bed-pcb/> (åtkomstdatum 11 maj 2023).
- [8] T. Agarwal, "What is the MOSFET: Basics, Working Principle and Applications", *ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students*, 31 oktober 2013. <https://www.elprocus.com/mosfet-as-a-switch-circuit-diagram-free-circuits/> (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [9] A. Helmenstine, "What Is a Desiccant? Definition and Examples", *Science Notes and Projects*, 10 oktober 2021. <https://sciencenotes.org/what-is-a-desiccant-definition-and-examples/> (åtkomstdatum 15 maj 2023).
- [10] D. Watson, "Introduction to NodeMCU V3 - The Engineering Projects", 11 oktober 2018. <https://www.theengineeringprojects.com/2018/10/introduction-to-nodemcu-v3.html> (åtkomstdatum 08 maj 2023).
- [11] W. Storr, "Multiplexer (MUX) and Multiplexing Tutorial", *Basic Electronics Tutorials*, 01 augusti 2013. [https://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb_2.html) (åtkomstdatum 09 maj 2023).
- [12] "DBS-BA-e-1714.pdf". Åtkomstdatum: 25 maj 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://dok.kern-sohn.com/manuals/files/English/DBS-BA-e-1714.pdf>
- [13] "SHT31-DIS-B". <https://sensirion.com/products/catalog/SHT31-DIS-B/> (åtkomstdatum 22 maj 2023).

- [14] ”Humidity Sensor BME280”, *Bosch Sensortec*. <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/> (åtkomstdatum 22 maj 2023).
- [15] Lady Ada och L. Clark, ”Adafruit TCA9548A 1-to-8 I2C Multiplexer Breakout”, *Adafruit Learning System*. <https://learn.adafruit.com/adafruit-tca9548a-1-to-8-i2c-multiplexer-breakout/overview> (åtkomstdatum 22 maj 2023).
- [16] ”SUNLU S2 Dryer Filament with 360°C Heating function”. <https://www.sunlu.com/collections/sunlu-filament-dryer-s1/products/new-version-sunlu-filadryer-s2?variant=39591595343958> (åtkomstdatum 08 maj 2023).
- [17] ”Frukt-/svamptork | Roterande funktion | Menuett | Julia”. <https://www.jula.se/catalog/hem-och-hushall/koksmaskiner/matberedningsapparater/frukt-svamptorkar/frukt-svamptork-001641/> (åtkomstdatum 08 maj 2023).

## BILAGA 1. Sid 1(3)

```
#include <ArduinoJson.h>
#include <Arduino_JSON.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include "Wire.h"
#include "SHT31.h"
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH110X.h>

#define SHT31_ADDRESS 0x44

uint32_t start;
uint32_t stop;

SHT31 sht1;
SHT31 sht2;
SHT31 sht3;
SHT31 sht4;

WiFiClient client;
HTTPClient http;
String octoprint_url = "REDACTED";

const char* ssid = "REDACTED";
const char* password = "REDACTED";

String sensorReadings;
String sensorReadingsArr[1];

Adafruit_SH1106G display = Adafruit_SH1106G(128, 64, &Wire, -1);

#define XPOS 0
#define YPOS 1
#define DELTAY 2

void TCA9548A(uint8_t bus){
  Wire.beginTransmission(0x70);
  Wire.write(1 << bus);
  Wire.endTransmission();
}

void setup() {
  pinMode(16, INPUT);

  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();

  sht1.begin(SHT31_ADDRESS);
  sht2.begin(SHT31_ADDRESS);
  sht3.begin(SHT31_ADDRESS);
  sht4.begin(SHT31_ADDRESS);

  Wire.setClock(100000);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
  }

  delay(250);
```

## BILAGA 1. Sid 2(3)

```
TCA9548A(0);

delay(250);
display.begin(0x3C, true);

display.setRotation(1);
display.clearDisplay();
display.display();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SH110X_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
}

void loop() {

  StaticJsonDocument<512> jsonBuffer;

  TCA9548A(2);
  sht1.read();
  float temperatureSensor1 = sht1.getTemperature();
  float humiditySensor1 = sht1.getHumidity();

  TCA9548A(3);
  sht2.read();
  float temperatureSensor2 = sht2.getTemperature();
  float humiditySensor2 = sht2.getHumidity();

  TCA9548A(4);
  sht3.read();
  float temperatureSensor3 = sht3.getTemperature();
  float humiditySensor3 = sht3.getHumidity();

  TCA9548A(5);
  sht4.read();
  float temperatureSensor4 = sht4.getTemperature();
  float humiditySensor4 = sht4.getHumidity();

  String tester = "";
  tester = tester + temperatureSensor1 + " " + temperatureSensor2 + " " + temperatureSensor3 +
  " " + temperatureSensor4 + " " + humiditySensor1 + " " + humiditySensor2 + " " +
  humiditySensor3 + " " + humiditySensor4;

  Serial.println(tester);

  TCA9548A(0);
  display.clearDisplay();
  display.display();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("Ute:");
  display.print(temperatureSensor1);
  display.println(" C");
  display.print(humiditySensor1);
  display.println("%");
  display.println("");

  display.println("Wellpapp:");
  display.print(temperatureSensor2);
  display.println(" C");
  display.print(humiditySensor2);
  display.println("%");
  display.println("");

  display.println("Box:");
  display.print(temperatureSensor3);
  display.println(" C");
```

## BILAGA 1. Sid 3(3)

```
display.print(humiditySensor3);
display.println("%");
display.println("");

display.println("Filament:");
display.print(temperatureSensor4);
display.println(" C");
display.print(humiditySensor4);
display.println("%");
display.println("");
if(digitalRead(16))
{
    display.display();
}
if(!digitalRead(16))
{
    display.clearDisplay();
    display.display();
}

delay(2000);

auto error = deserializeJson(jsonBuffer, tester);
if (error) {
    return;
} else {
}

if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    http.begin(client, octoprint_url);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");
    http.addHeader("auth-key", "REDACTED");

    String data;
    serializeJson(jsonBuffer, data);

    int httpCode = http.POST(data);

    if (httpCode > 0) {
        String payload = http.getString();
    }

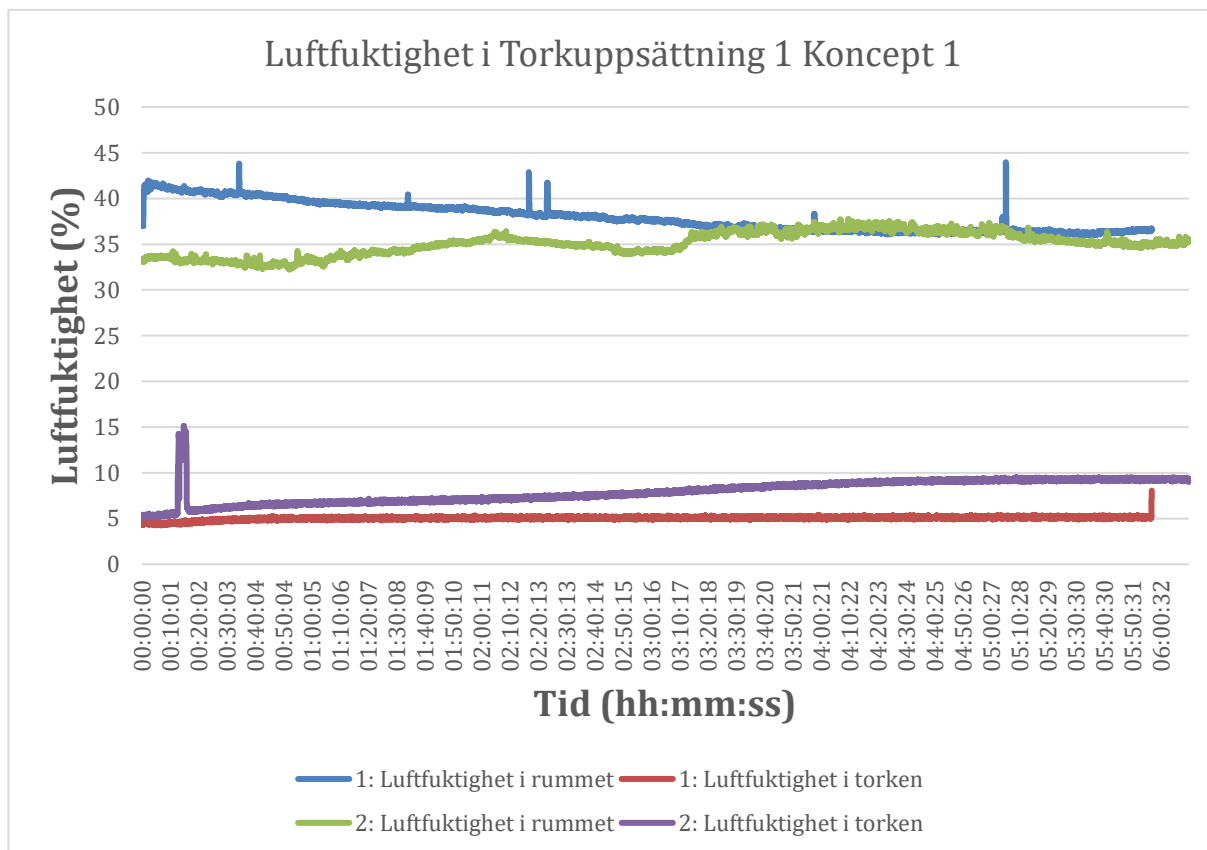
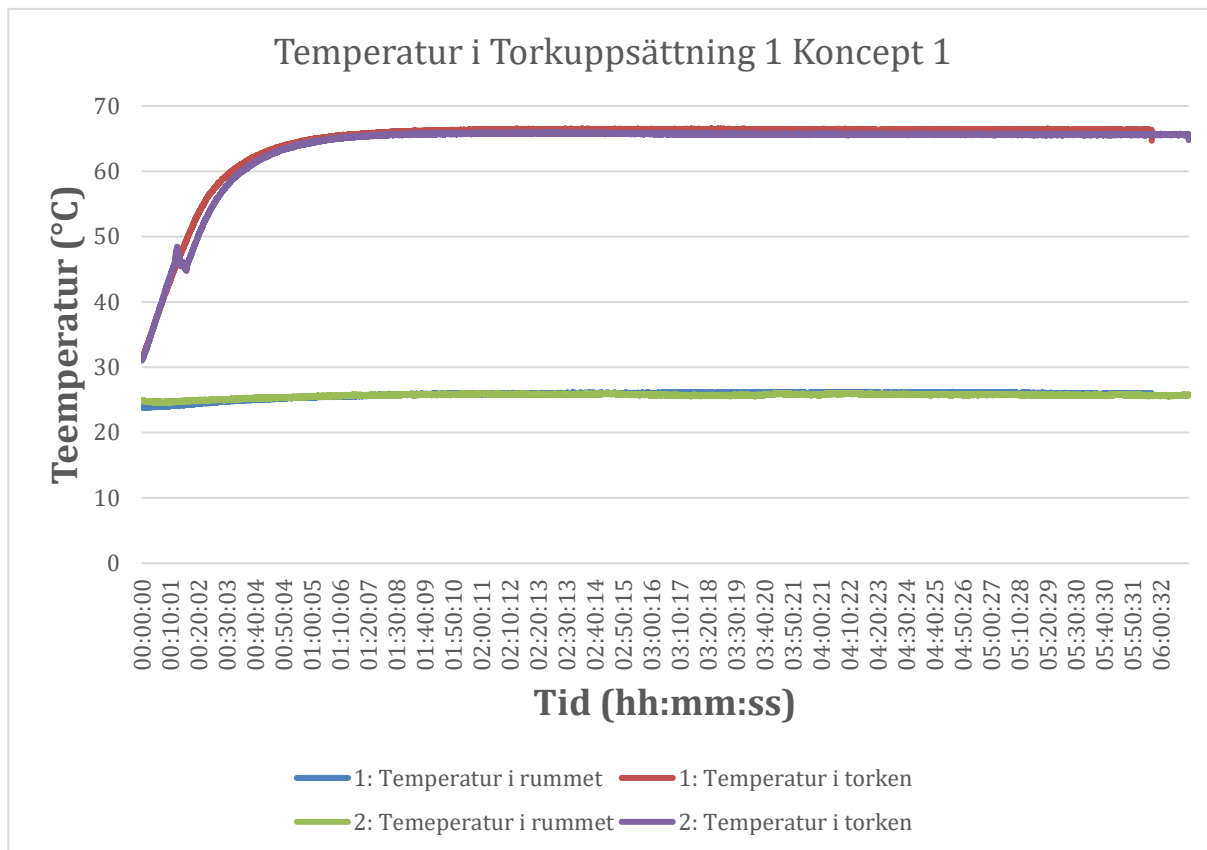
    int httpResponseCode = http.GET();

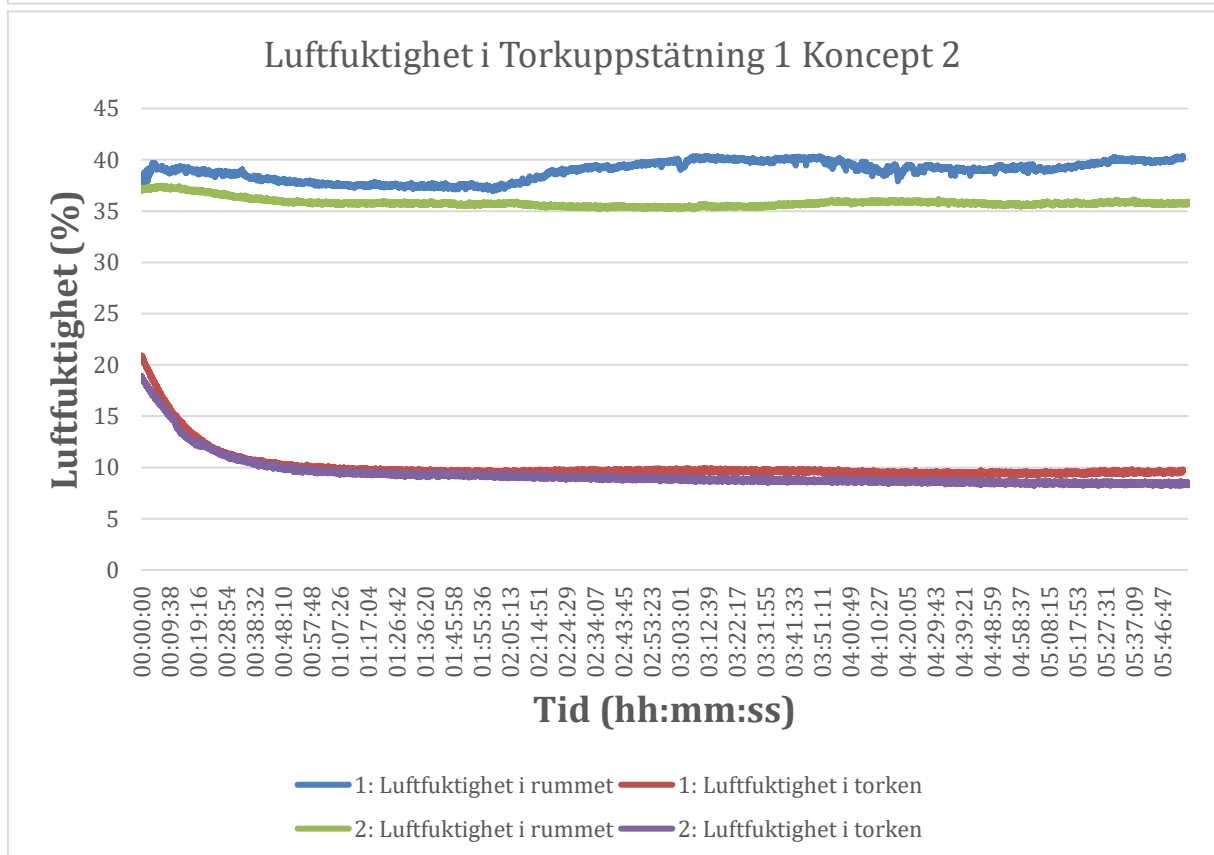
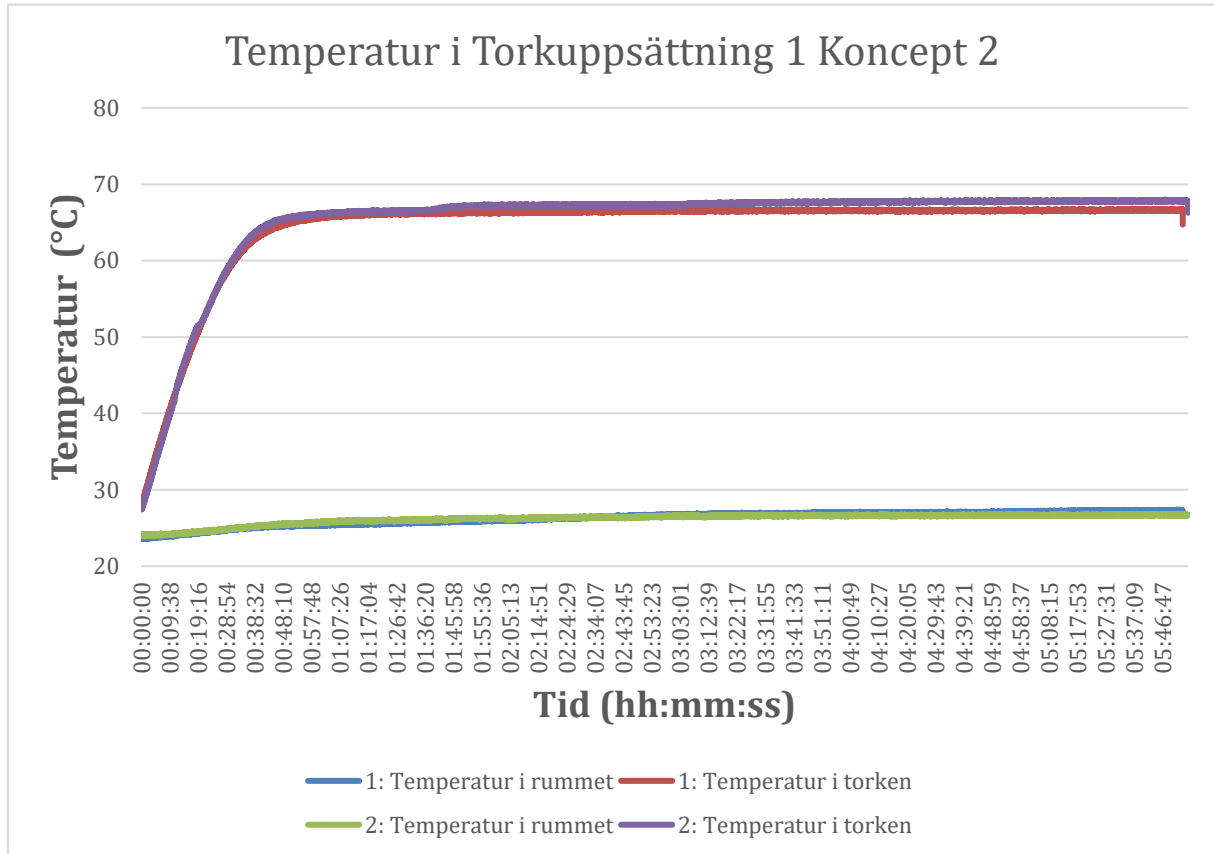
    if (httpResponseCode>0) {
        sensorReadings = http.getString();
    }
    else {
    }

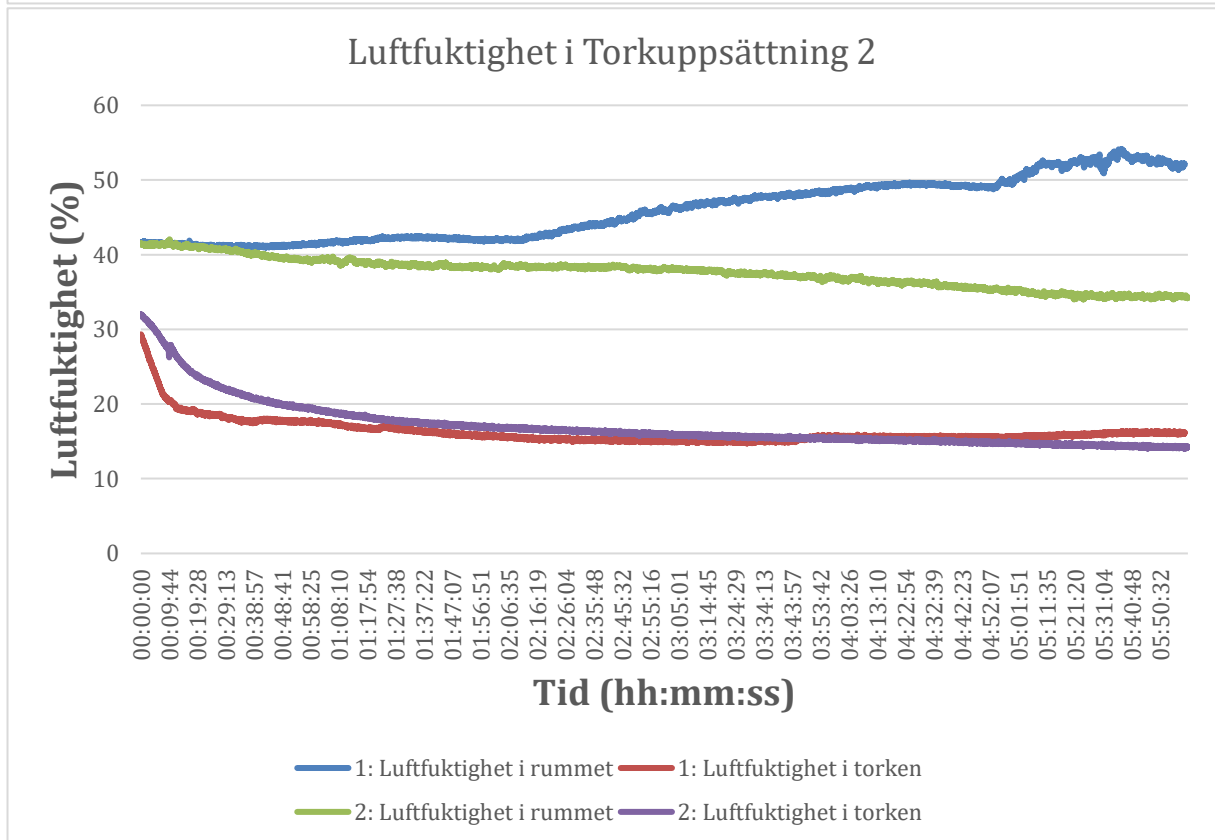
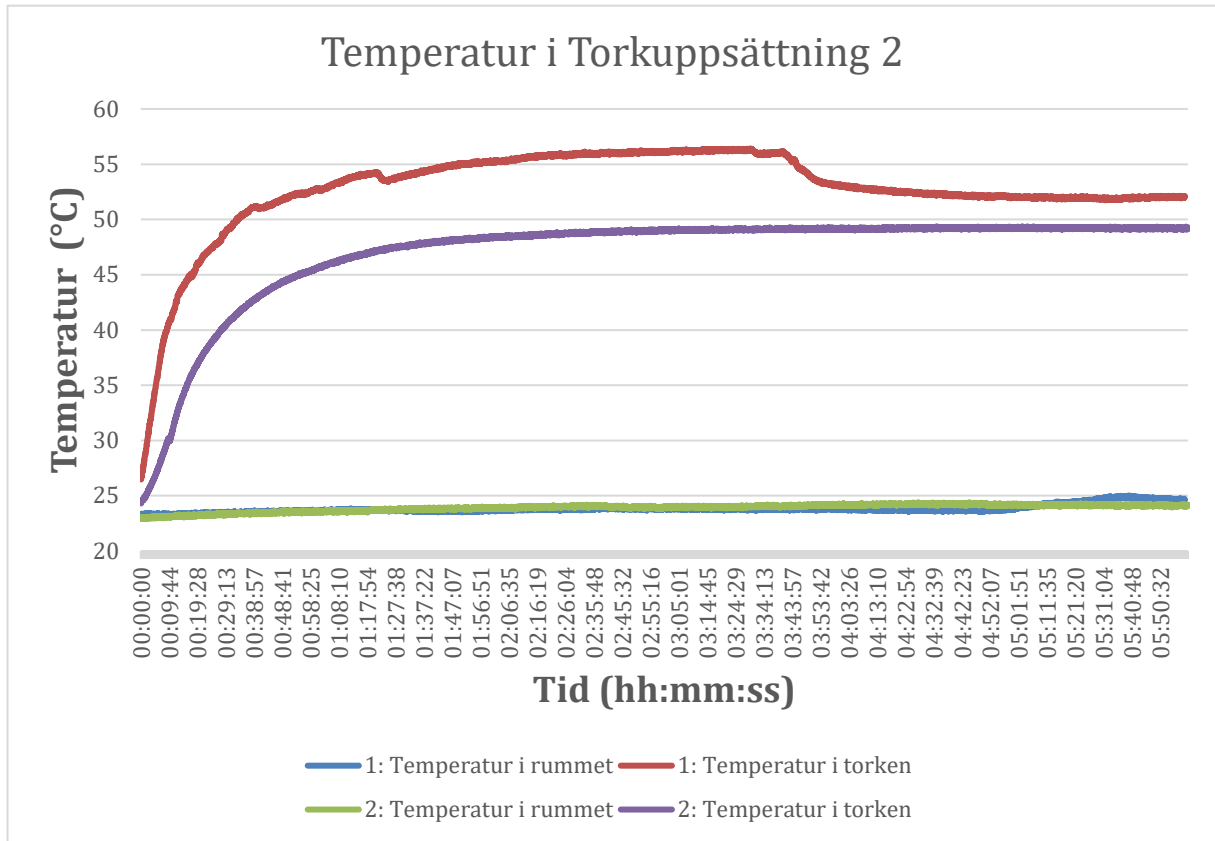
    JSONVar myObject = JSON.parse(sensorReadings);
    if (JSON.typeof(myObject) == "undefined") {
        return;
    }

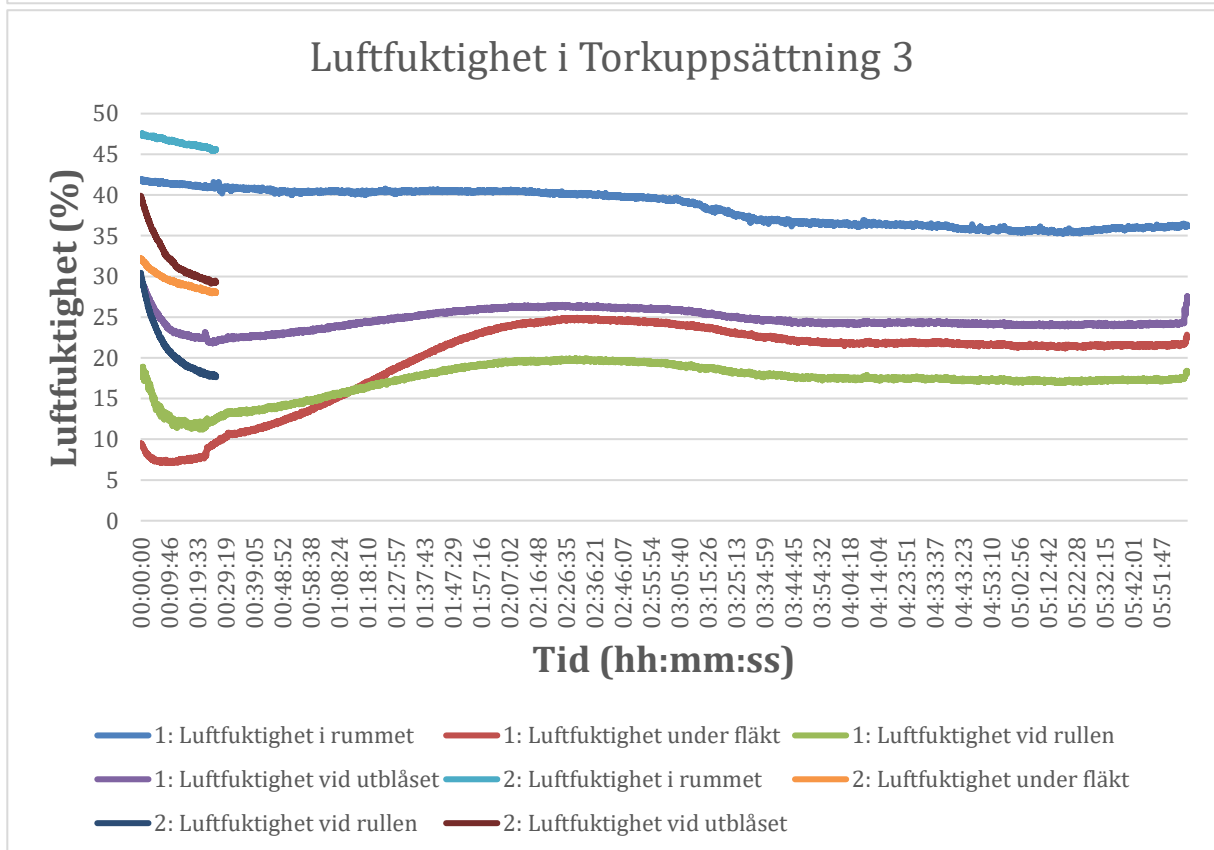
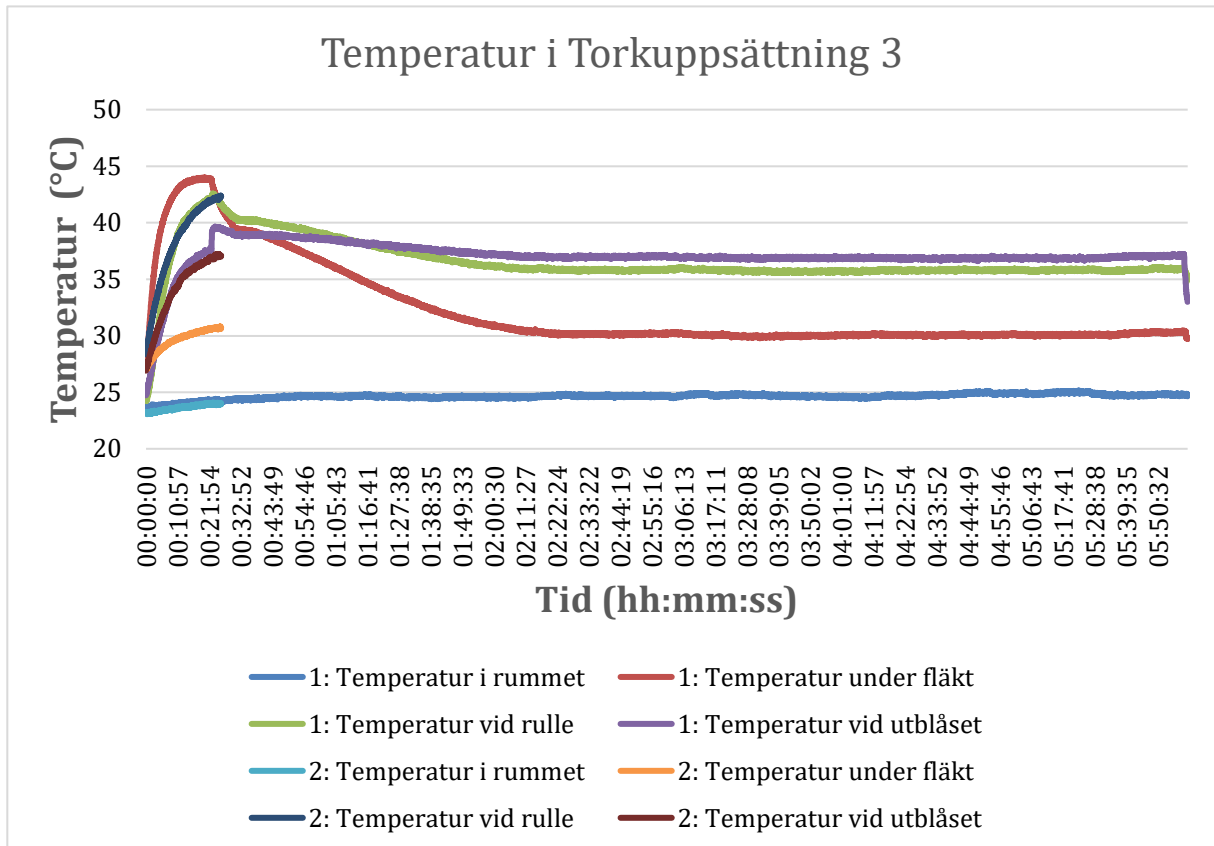
    JSONVar keys = myObject.keys();

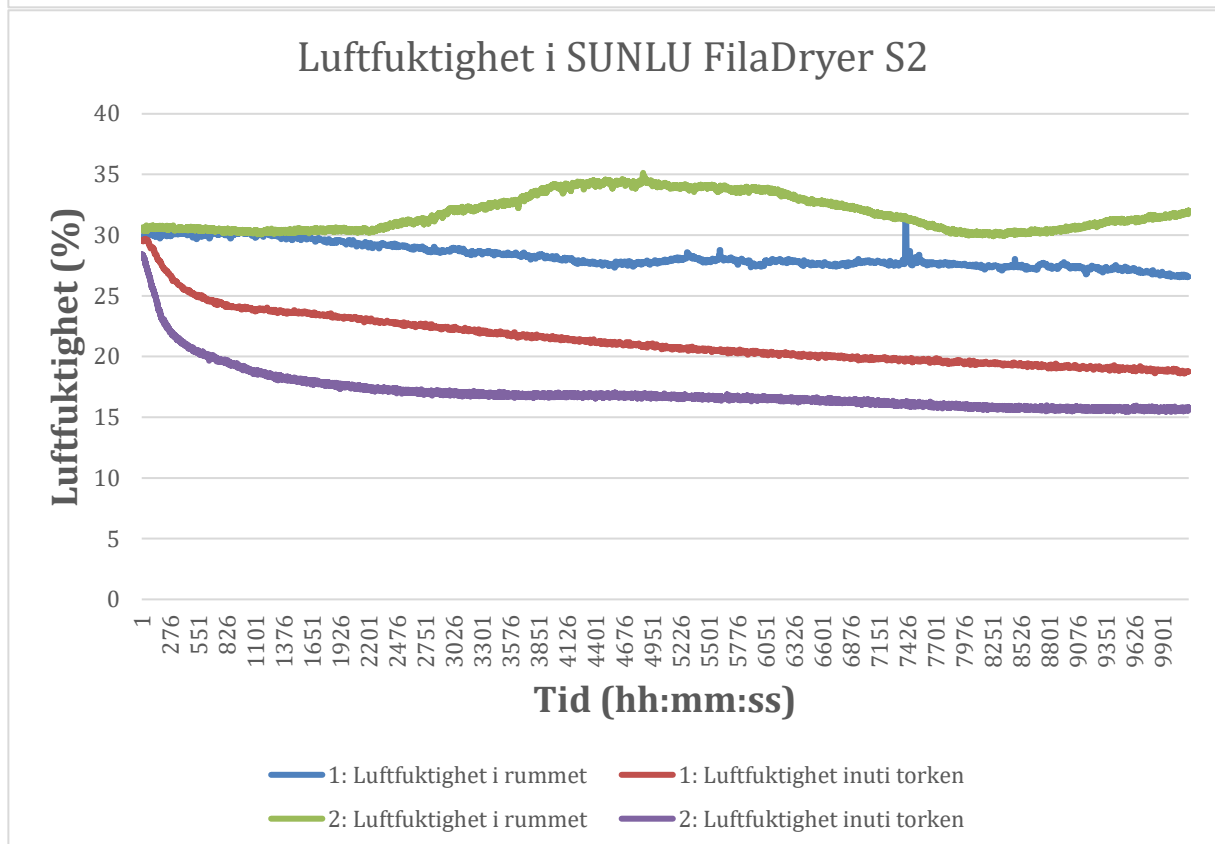
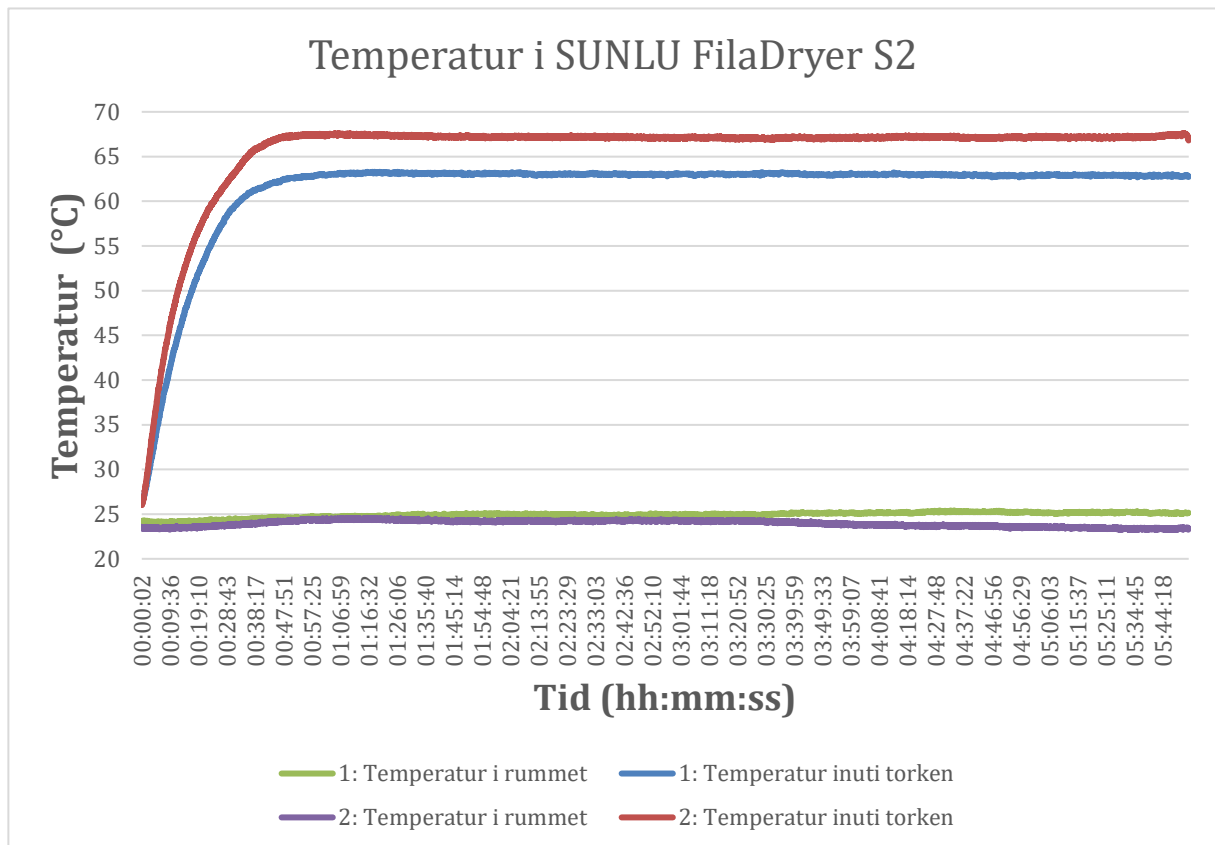
    for (int i = 0; i < keys.length(); i++) {
        String value = myObject[keys[i]];
        sensorReadingsArr[i] = value;
    }
    http.end();
}
}
```

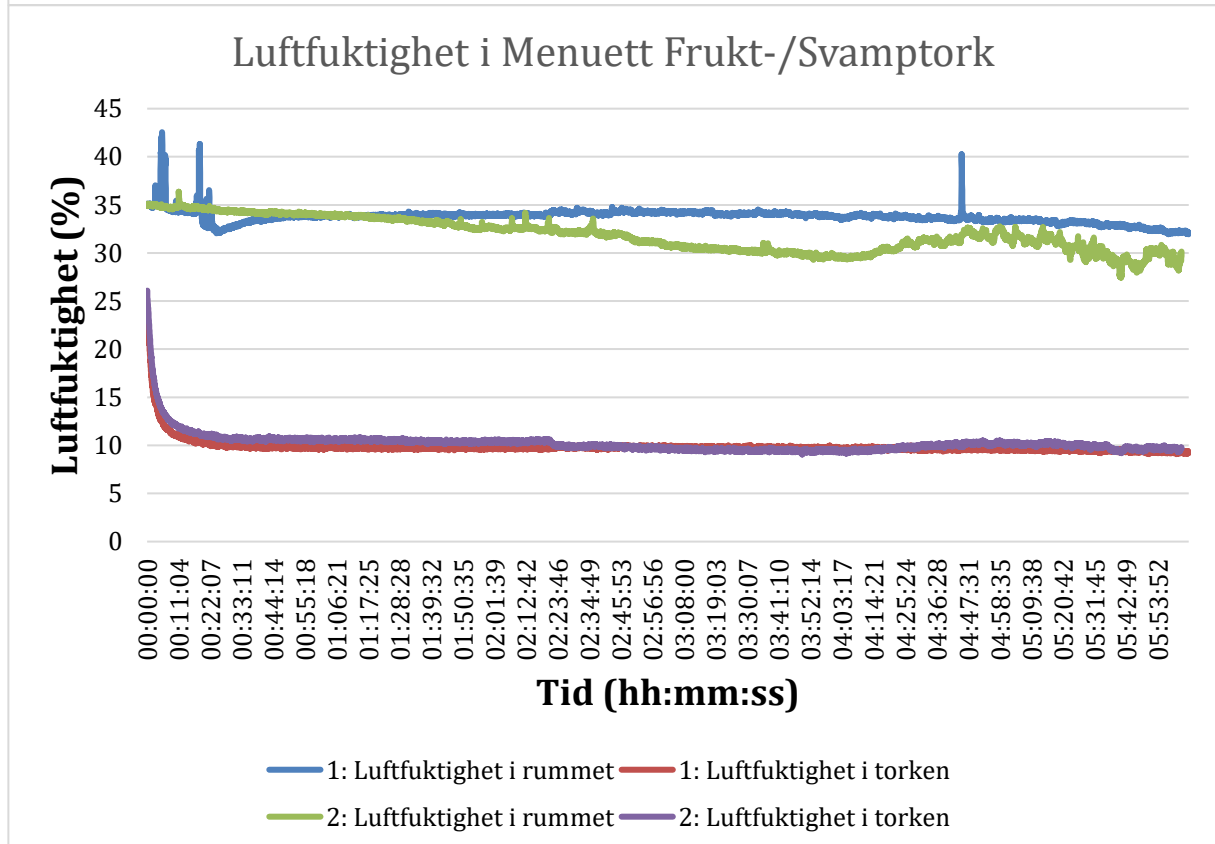
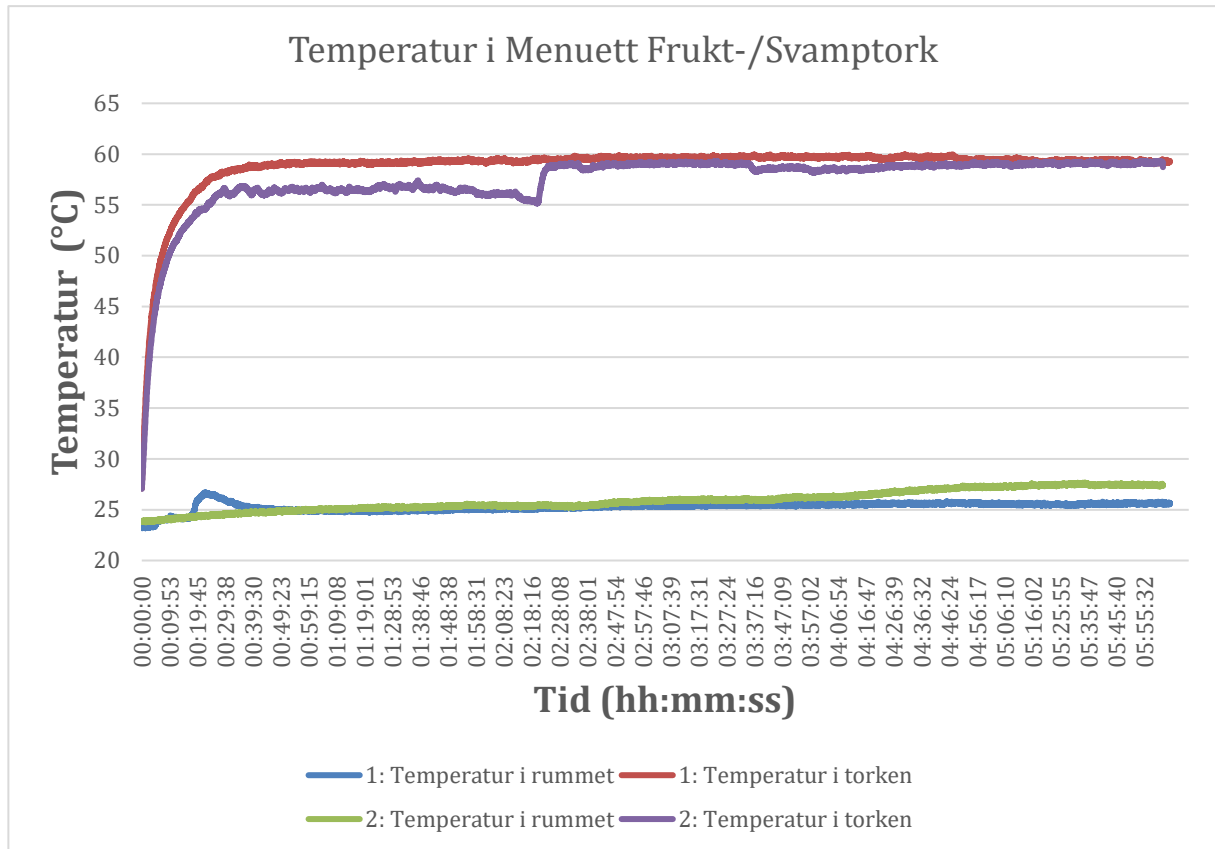














INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**