



Kongsberg Institutt for Ingeniørfag

Oppgavetittel: Kaffetårn
Fag(nr./navn): Smartsystems
Dato: Dato for når rapporten ble ferdigstilt
Jeg/vi bekrefter at den innleverte besvarelsen helt og fullt er mitt/vårt verk.
Underskrifter:

Innholdsfortegnelse

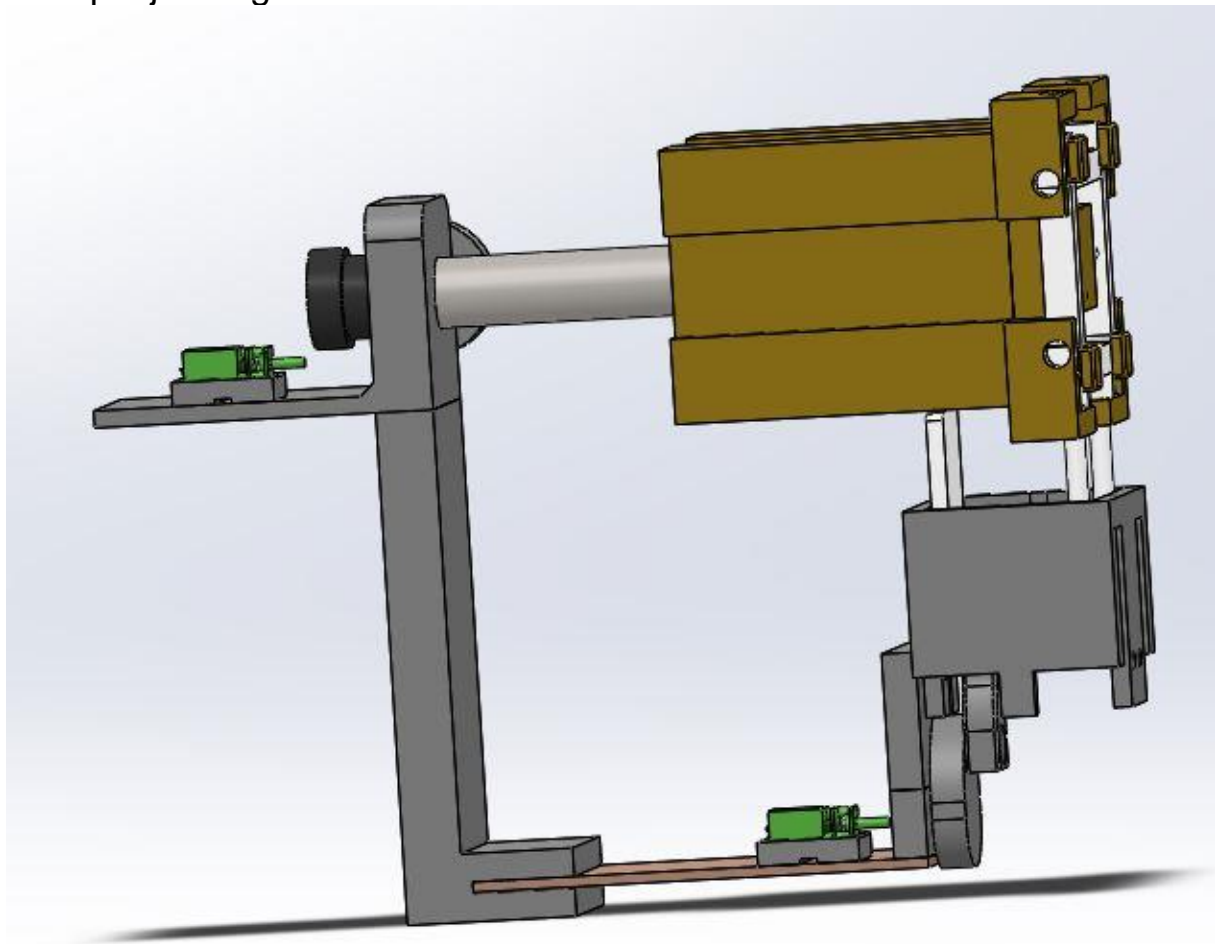
Innledning	3
Forenklinger og antagelser.....	4
Materiale	4
Laster	8
Låsinger	10
Mesh	6
Resultater.....	13
Spenninger	15
Deformasjoner	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Konklusjon	22
Vedlegg.....	24

Innledning

I denne oppgaven vil vi se nærmere på en Modell som er produsert for å automatisere en kapsel-kaffemaskin. Selve modellen er en Assembly av et roterende kaffetårn med plass til kapsler. Siden det er produsert i 3d-print så vil printretningen ha mye å si på styrken til det man produserer. Her vil også rotasjonen til tårnet spille en rolle siden ettersom krefter vil bli påført fra alle sider dermed kan det være interessant å finne den retningen som gir best «overall strength». Man kan også legge inn materialer i solid Works som simulerer print i forskjellige retninger, og man kan med dette finne en gunstig printretning.

Produksjonskostnadene ved denne oppgaven går mest i materialkostnader som designet prøver å holde så lave som mulig. Ved å kjøre en «optimaliserings»-analyse kan vi finne en mer økonomisk gunstig design som samtidig beholder funksjonen sin.

Delen vil også stå konstant under «vanndamp», og man kan gjøre termiske analyser for å se om det vil ha noen innvirkning på plasten. Om plasten blir «myk» må man kanskje vurdere et alternativt design som tåler påkjenningene.



Figur 1 Bildet av full sammenstilling "Kaffetårn"

Forenklinger og antagelser

Torque analyse: her vil Endekapsel til aksel og midtseksjonen til tårnet bli tatt vekk fra analysen.

Torque analyse: akslingen vil bli noe forkortet.

Termo analyse: her vil aksel og bolt bli tatt vekk fra analysen.

Antagelser: Romtemperatur på 20 Grader Celcius.

Antagelser: Generalisering av ABS plast verdier der hvor data ikke kan fremskaffes eller produseres.

Analyse: det vil bli utført fire forskjellige Torque analyser på materialet basert på de forskjellige printretningene, de vil ha like fortutsetninger. Det vil si likt mesh, laster og låsinger.

Termo analyse: det antas at kaffen som kommer ut av maskinen gir fra seg energi i form av varme uten tapsledd til tuppen av kaffetårnet i et «worst case scenario».

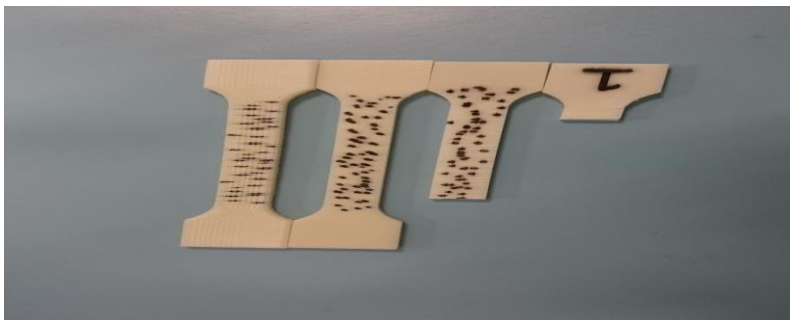
Materiale

Stratasys ABS-P430 (XL model ivory) er platen som er brukt til å produsere delene. Det er blitt innhentet datablader fra leverandør fra både mail korrespondanse og telefonsamtaler, men disse er svært mangelfulle. Vi vil derfor bruke datablad for generell ABS som er oppgitt til å ha samme egenskapene som P430 der det mangler data fra leverandør. Disse databladene har også mangler. Vi har derfor produsert «strek»-staver som er strukket på HSN for å finne reelle verdier.

Kolonne1	Kolonne2	Kolonne3
Property	Verdier:	Benevning
Elastic Modulus	20000000	n/mm ²
Mass Density	1020	kg/m ³
Tensile strength	30000000	N/mm ²
Yield strength	17 til 30 *10 ⁶	N/mm ²
Thermal conductivity	0.2256	w/(m*K)
Specific heat	1386	J/(kg*K)
Glass Transition Temperature	108	*C
Thermal expansion Coefficient	8.82*10 ⁻⁰⁵	mm/mm/*C
Mechanical property integrity	-20 til 80	*C

Figur 2 (Yield strength er avhengig av print retningen)

Yield strength til materialet mangler fra leverandør og i generell ABS info i Solidworks, det ble derfor produsert prøvestaver med forskjellige printretninger for å finne verdier.

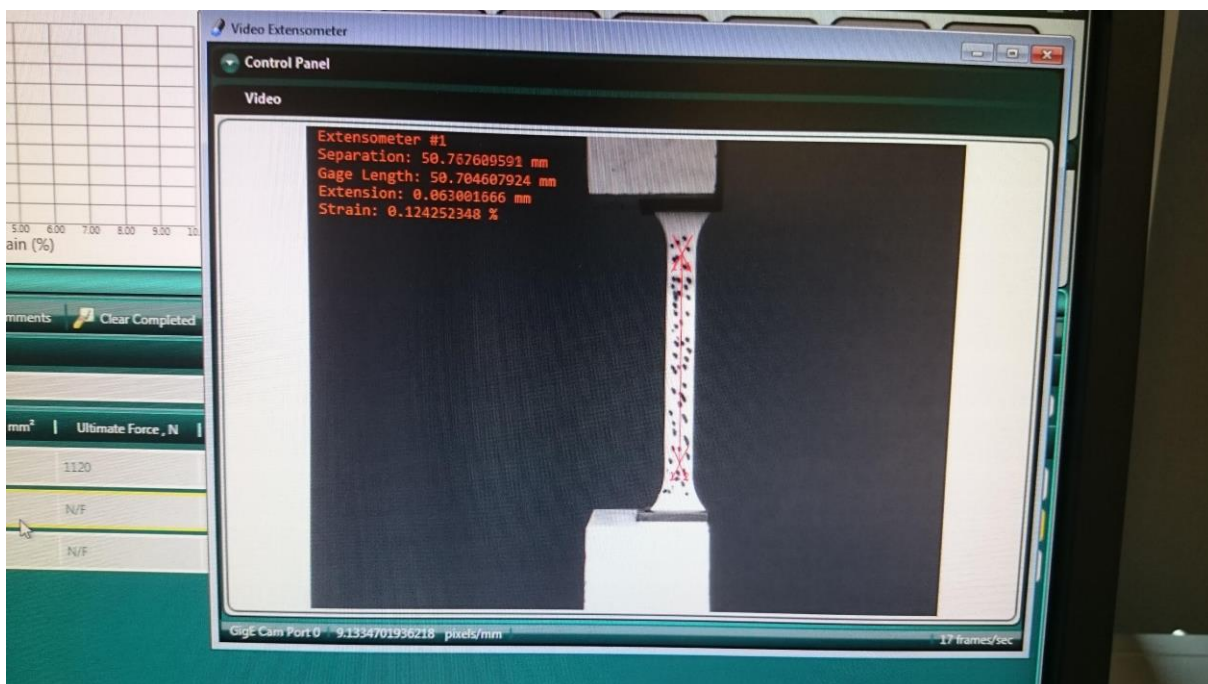


Figur 3 Prøvestaver som ble produsert



Figur 4 Strekktesting av Prøvestaver

Prøvestavene blir festet til Strekkprøvemaskinen og kameraet blir nullstilt til prøven.



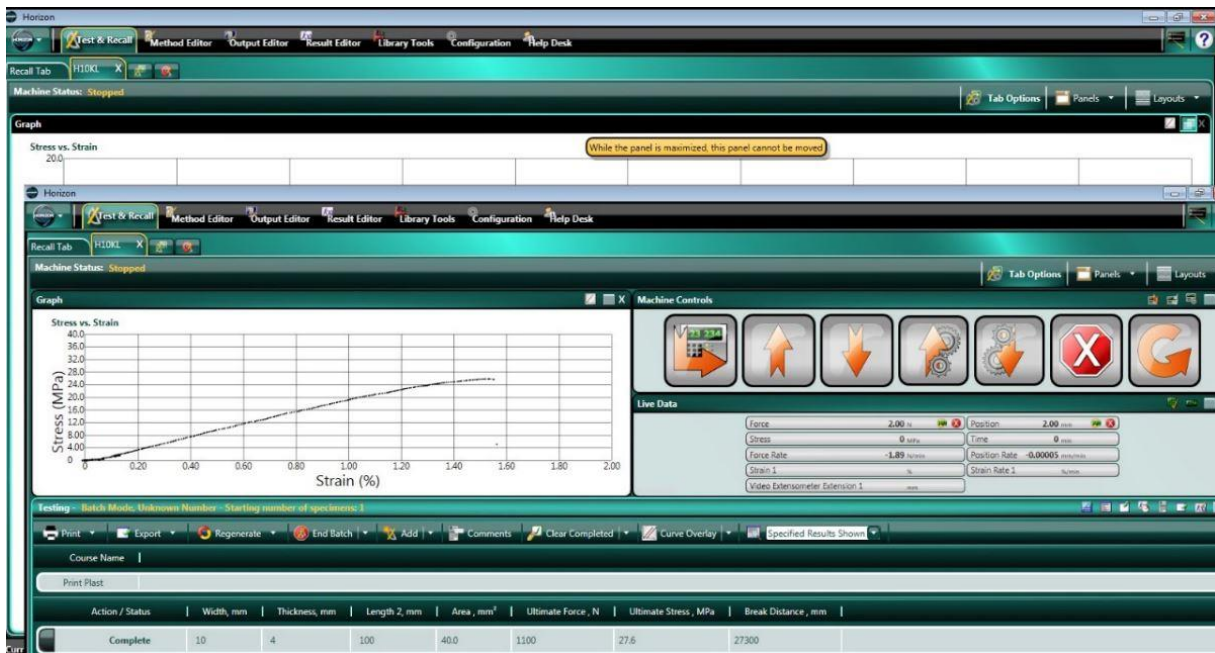
Figur 5 Extensometer

Extensometeret godkjenner prøven for strekk ved at man kan se to røde kryss på toppen og i bunnen av prøven.



Figur 6Strukket Prøve

Prøven blir strukket til den kommer til brudd, den blir så fjernet og dataen analysert på datamaskinen og i bruddsonen på prøven direkte. Det er stor mulighet for produksjonsfeil på print-plast så bruddet må analyseres for feil for å godkjenne prøven



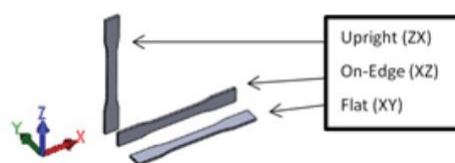
Figur 7Eksempel på verdier fra strekkprøvingen

Strekkprøvene viser at materialegenskapene varierer veldig med produksjonsretningene på lagene i plasten og retningen på strekk-krefter.

$XZ = X$ or "on edge"

$XY = Y$ or "flat"

$ZX = Z$ or "upright"



Figur 8Printretninger

I figur 8 kan man se forskjellige måter og printe på, det ble produsert en fjerde type print som ligger i 45° mellom ZX og XY



Figur 9 Produuerte Prøvestaver

Prøvestavene blir merket før de tas i bruk for at man kan lettere gjenkjenne printretningen.



Figur 10 Eksempel på feilprint



Figur 11 Analyser som blir gjennomført

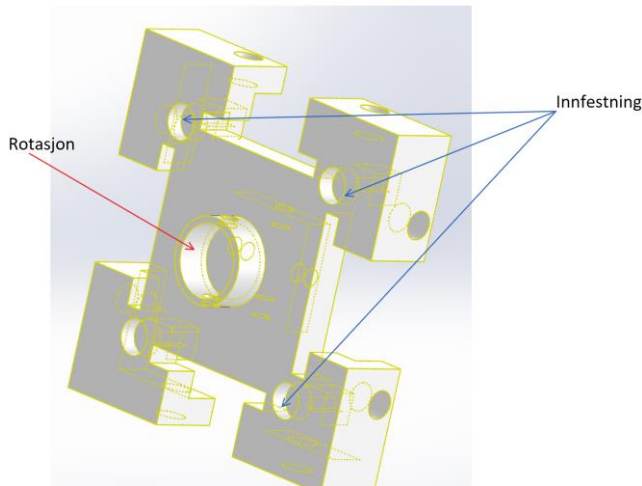
Laster

Det vil stå en motor på enden av akselen som er festet under tårnet, og som yter en Torque på modellen. Denne motoren er en 6V 220mA(0.22A) 60RPM. For å finne max Torque fra denne motoren så bruker vi ligningen $Torque = (I \cdot V \cdot E \cdot 60) / (RPM \cdot 2 \cdot \pi)$ hvor E er motorens maks effektivitet. Man finner maks effektivitet ved ligningen: Mechanical output power / Elektrical input power som gir $E = P_{out} / P_{inn}$.

Med vår motor så får vi en maks effektivitet på 15% som gir oss 0.15 i ligningen (høyere prosent en 15 kan gi «stall Torque» som kan ødelegge motoren).

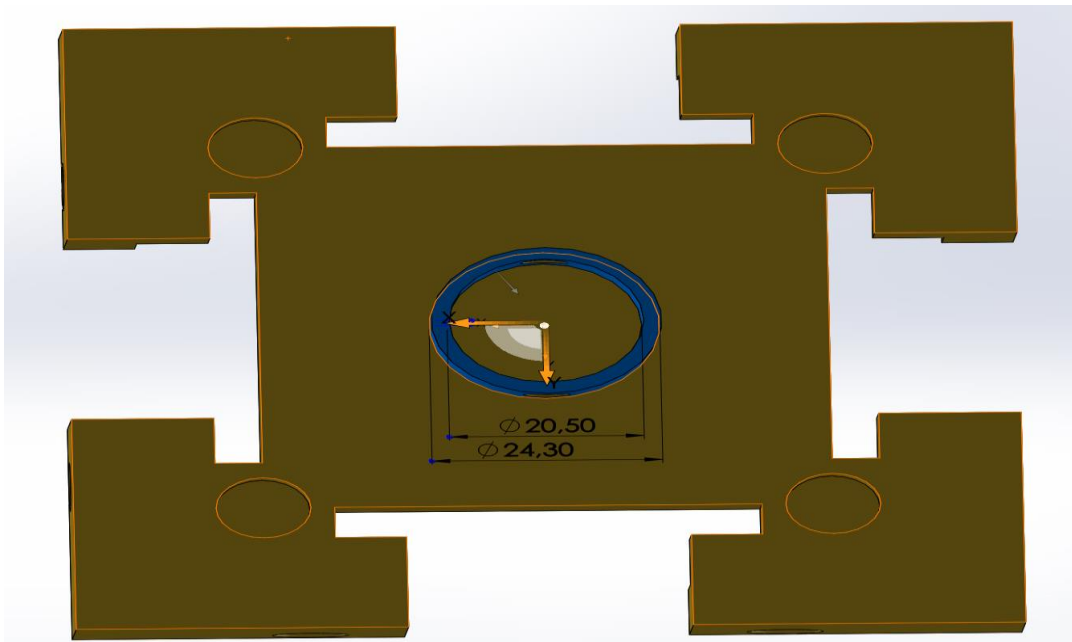
$$T = \frac{(0,22 \cdot 6 \cdot 0,15 \cdot 60)}{(100 \cdot 2 \cdot 3,14)} = 0,018 \text{ N.m}$$

Det vil derfor bli angitt en last på analyse «XZ», «ZX», «XY» og «45grader» på 0.018N.m mens på analyse «XY2 med g» vil det bli 0.018 N.m *10. Her ser man på hva som skjer om man «feilkobler» eller sender for mye spenning til motoren og den tidobler kraften sin en liten periode før den brenner ut. Det blir også satt en gravitasjonskraft på XY2 med g.



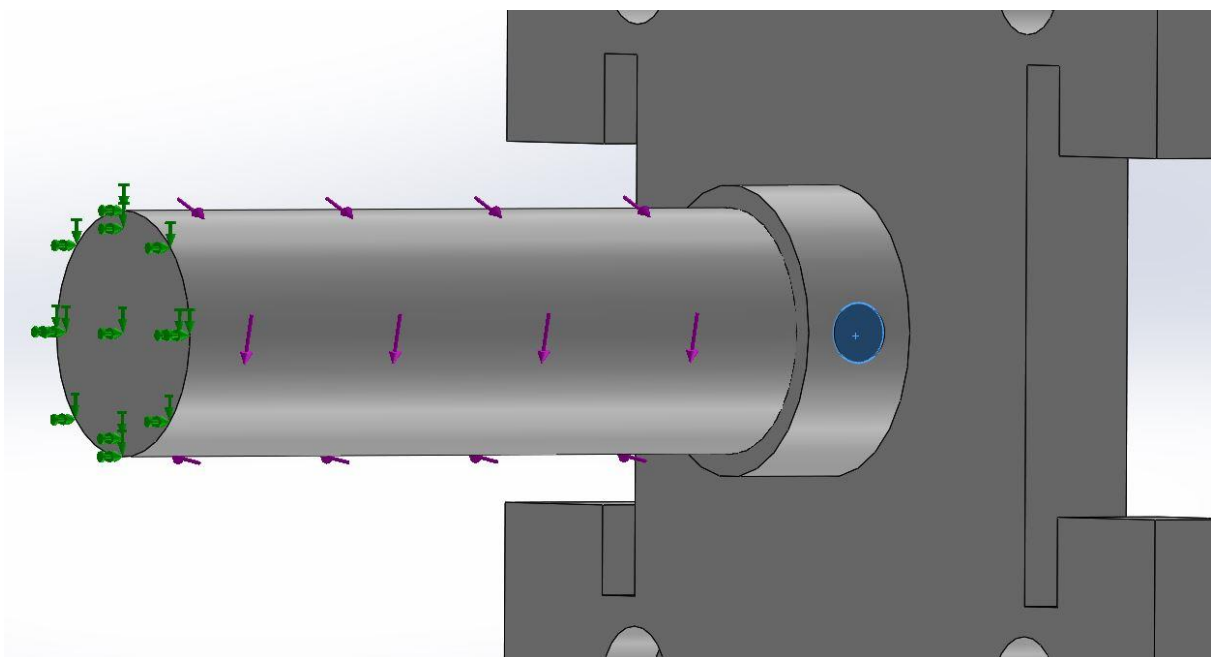
Figur 12 Kraft pil

Motoren yter en relativt svak kraft på legemet når man sammenligner Yield strength til materialet mot rotasjonsmomentet. Grunnen til at denne motoren er brukt i analysen er fordi det er en motor med disse spesifikasjonene som roterer det produserte kaffetårnet. Delen er også blitt overdimensjonert rundt akselen siden det var uvisst hva slags størrelse på akslingen man ville ha tilgjengelig. Derfor er feste til akslingen med en innerdiameter på 20 og en ytterdiameter på 24mm.



Figur 13 Indre og ytterdiameter på akselholder

Dette er så man kunne bruke standardiserte rør på 20 og 25 avhengig av hvilken man fikk tilgang på. Dette er ikke kostnad/materialeffektivt og det blir kjørt en optimaliserings analyse for å finne den optimale diameteren, mindre diameter større størrelse gir også mere spenninger, derfor er det viktig å opprettholde en factor of safety i designet på minimum 4.

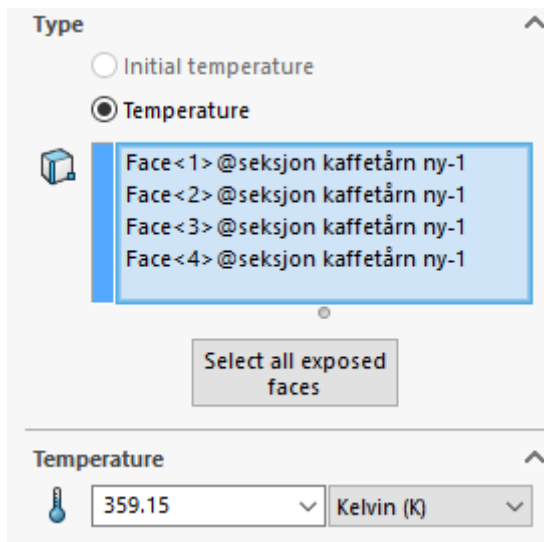


Figur 14 Torque rundt akslingen

Det blir også satt en gravitasjonskraft som last på simulasjon: «XY2 med g»,

Rotasjonstårnet vil stå over en kaffemaskin som produserer varme i form av vann/vanndamp. I spesifikasjonene til kaffemaskinen står det at kaffen er 359,15 Kelvin når den kommer ut av maskinen, og man gjør antagelsen at det blir en energioverførsel uten tapsledd til tuppen av maskinen for å gjøre beregninger på en maskin som enten produserer kaffe med feil temperatur eller et scenario hvor tårnet står rett ovenfor avdampingen fra maskinen.

Her vil man sette en temperature last på sidene som står vinkelrett ovenfor der hvor en eventuell energioverføring ville tatt sted.



Figur 15 Varmetilførsel

Kaffetårnet står også i et miljø på 293.15 Kelvin og det blir satt på en radiation last med Surface to ambient. Her vil også Thermal conductivity til materialet være viktig og må spesifiseres i lasten for at man kan kjøre en termo analyse

Låsinger

Modellen blir låst med en Advanced fixture: Bearing support. Dette er fordi modellen er festet i en aksel som er igjen er satt i et kulelager, og med denne låsingen vil modellen være låst for bevegelse men ha muligheten for rotasjon.

Mesh

Modellene: XZ, ZX, XY og 45 Grader har fått auto mesh fra solidworks på definisjonen «fine», det ble deretter brukt mesh controll og satt en element size på 0.5mm som ble satt på bolten og holderen til akselen. Dette er fordi det er her man vil se en spenningskonsentrasjon og det er viktigere å ha fint mesh her enn på andre steder av modellen.

Mesh Details	
Study name	XZ (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Standard mesh
Automatic Transition	Off
Include Mesh Auto Loops	Off
Jacobian points	4 points
Mesh Control	Defined
Element size	2.73548 mm
Tolerance	0.136774 mm
Mesh quality	High
Total nodes	115055
Total elements	71721
Maximum Aspect Ratio	7.1374
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	93.2
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:07
Computer name	

Figur 16 Grov mesh info

Det ble også utført en studie kalt XY2 med g hvor hele modellen blir fin-meshet med en elementstørrelse på 0.5. Dette er fordi at de første testene med «grovt» mesh er for å finne ut hvilken print retning er mest gunstig for så å utføre et scenario hvor motoren yter ekstra kraft på akselen med fint mesh for å få ut mere nøyaktige verdier med den sterkeste printen.

Mesh Details	
Study name	XY2 med g (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Mesh Control	Defined
Max Element Size	0.8 mm
Min Element Size	0.16 mm
Mesh quality	High
Total nodes	2614760
Total elements	1843101
Maximum Aspect Ratio	53.49
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	99.9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0.00293
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:01:34
Computer name	

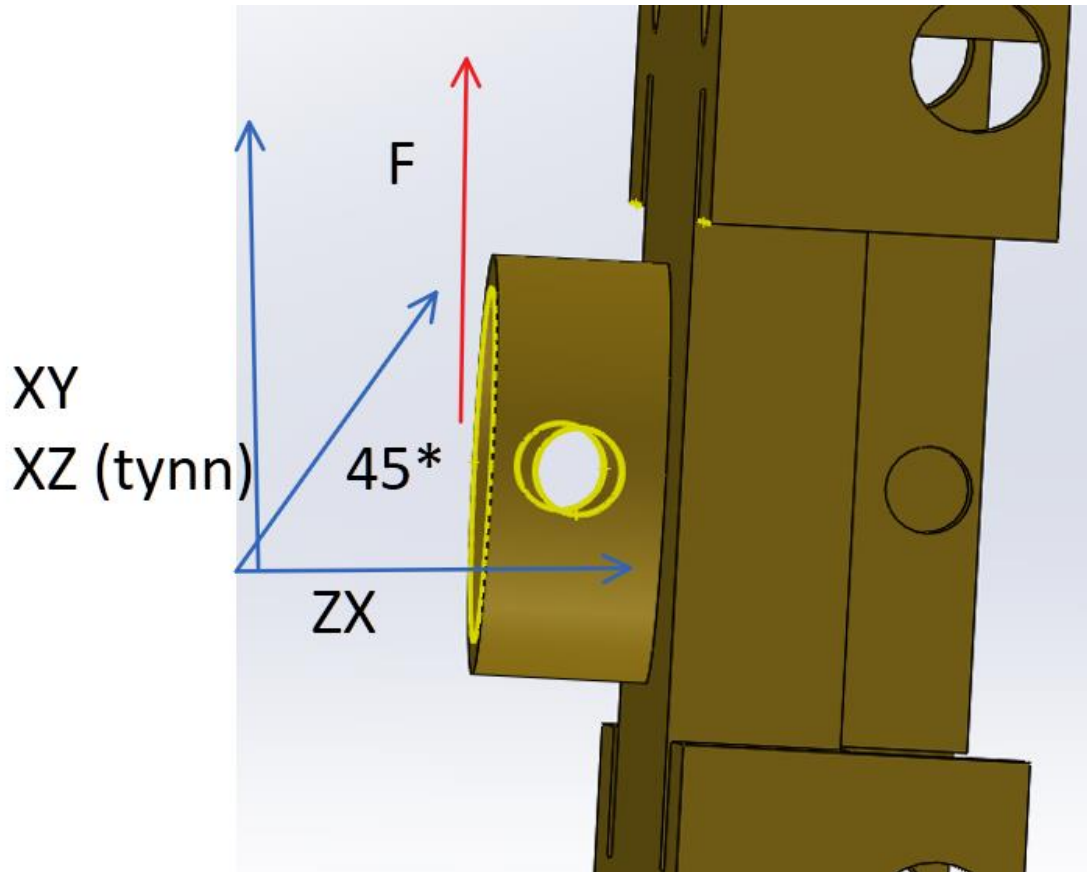
Figur 17 Fin mesh info

Det ble kjørt et standard mesh på grov analyse, men på fin analyse blir det brukt curvature-based mesh. Dette er for å få flere parametere å bruke i analysen, spesielt rundt kurvatur ved hull og aksel som modellen har en del av. Begge analysene har Jacobian points: 4 points, dette ble valgt etter anbefaling fra solidworks sitt forum hvor det blir forklart at algoritmen som avgjør deformasjonen til et element. Den gjør dette basert på volumet til et integral på et punkt til et element. Flere punkter vil gi en bedre evaluering men til en del med så enkel geometri som brukes til denne rapporten så vil det ikke være nødvendig og øke antall punkter.

Aspect ratio: elementene som brukes har en aspect ratio basert på ligningen: (largest dim/smallest dim) det vil si ratio mellom det største og minste målet på elementene. Aspect ratio for det perfekte element er 1, men alt under 3 er sett på som gode elementer. I den første grove analysen så er 93.2% av elementene under 3, mens på fin analyse så er 99.9% under 3. Dette gir en god indikasjon på hvor godt modellene er meshet, og hvis man har over 90% <3 vil det bli godkjent. Kvaliteten på begge modellene er forholdsvis høy, men den grove litt for grov på visse deler, mens den fine er alt for fin på nesten hele modellen Dette er akseptabelt på en enkel del men om det hadde vært avansert geometri så hadde det vært mer effektivt og meshet grovere på deler som ikke er utsatt for spenninger, og muligens brukt symmetri for å redusere kalkulasjonstiden.

Resultater

Det var forventet at krefter i retningen av print vil være sterkest og dermed ville XY være den kraftigste printen.

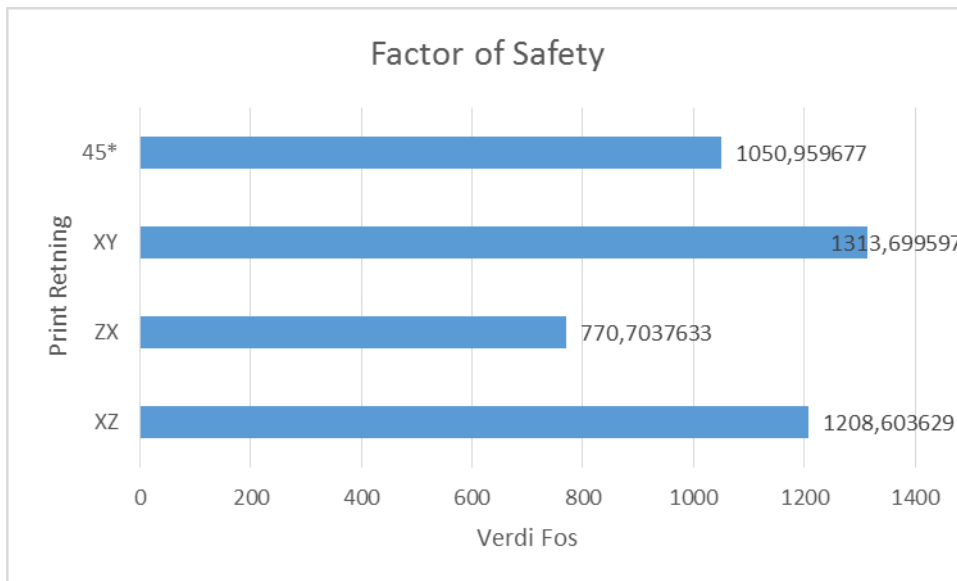


Figur 18 Kraftretning mot printretning

Det er ikke mulig og printe en sirkel som er sterk i alle retninger, det er derfor viktig og avgjøre hvor bolten/låsingen vil være på modellen og legge print retningen i samme retning som rotasjonskraften vil vri bolten. I dette tilfelle vil XY være den sterkeste print retningen da tester viser at XY er sterkere en XZ som også er printet i samme retning.

Printretning	Verdi MPA
XZ	27,6
ZX	17,6
XY	30
45*	24

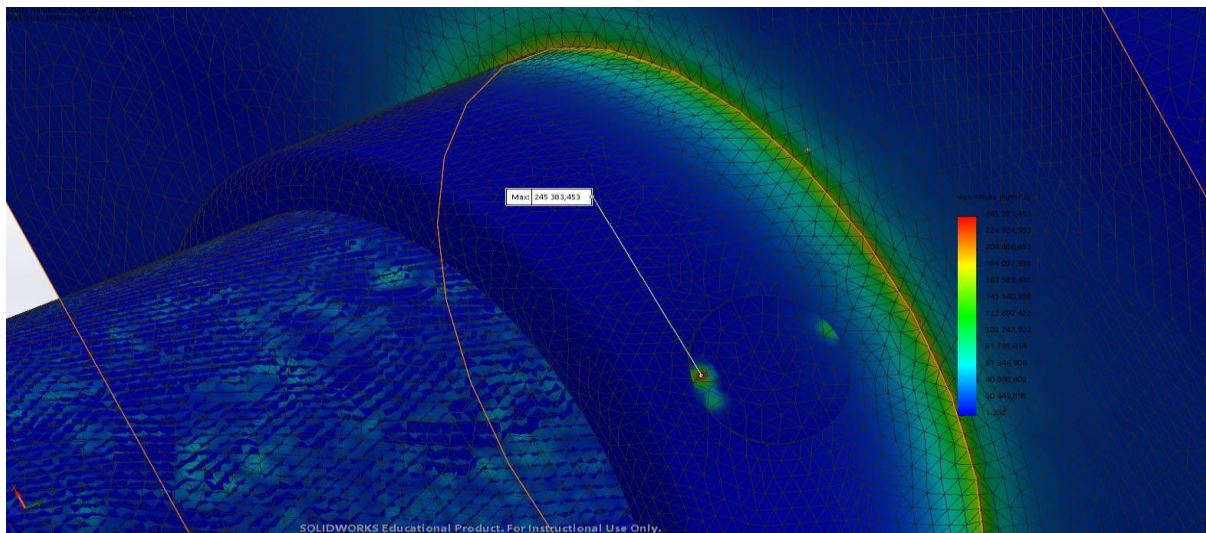
Print retning analysene gir en max Von mises på 22836,271 Pa og da kan man regne ut Factor of safety og se hvilket materiale som best egner seg og bruke.



Figur 19 Factor of safety plot

Figur 18 viser tydelig at XY gir de beste egenskapene tett etterfulgt av XZ, dette er ikke overaskende da de er begge printet i samme retning, men XY er printet på flatsiden som gjør at printeren bruker mer tid om gangen på materialet som igjen gjør at varmen blir konstant og materialet binder seg bedre, det var veldig tydelig fra objekter printet i ZX retning, eller som hadde så tynn geometri at det er vesentlig større sannsynlighet for feilprint en tykkere geometri. Opptil 30% av objektene printet i XZ retning hadde så vesentlige feil at det direkte påvirket materialeegenskapene. Dette ble oppdaget under strekkprøving. Basert på dette anbefales det og ikke produsere objekter i XZ retning med mindre de printes alene. Det er viktig at printerhode ikke jobber med andre deler samtidig (senker temperatur i utsatt del) og geometrien ikke er for tynn.

Når man har funnet den best egnede print retningen ble det utført en ny test hvor man legger på g-kraft og man antar at motoren har fått en slags feil som gjør at den yter 10x kraft en liten periode før den brenner ut. Dette er for å simulere et «worst case scenario» hvordan modellen vil tåle påkjenningene.



Figur 20 Høyeste spennings punkt

Figur 20 viser hvor på modellen de høyeste spenningene sitter, det er ikke overaskende at bolten har den høyeste spenningen. Man ser også at innfestingen aksel-holderen til selve modellen har høyere spenninger enn både aksel og akselholderen generelt. Factor of safety på denne modellen er på 122,3 som er en drastisk nedgang fra 1313, men som fortsatt er veldig høyt. Konklusjonen er at modellen er overdimensjonert og vi kunne spart volum/kostnader ved å redusere, aksel, bolt og akselholder. Om det hadde vært mikroskopiske plastiske forandringer i modellen så hadde det blitt en herdning i materialet og kraften hadde ikke hatt en plastisk påvirkning over tid.

Displacement: modellen får en displacement som er ganske høy grunnet at rotasjonen foregår med en bearing support. Det er meningen at delen skal rotere så displacement er ikke så viktig for denne analysen.

Spenninger

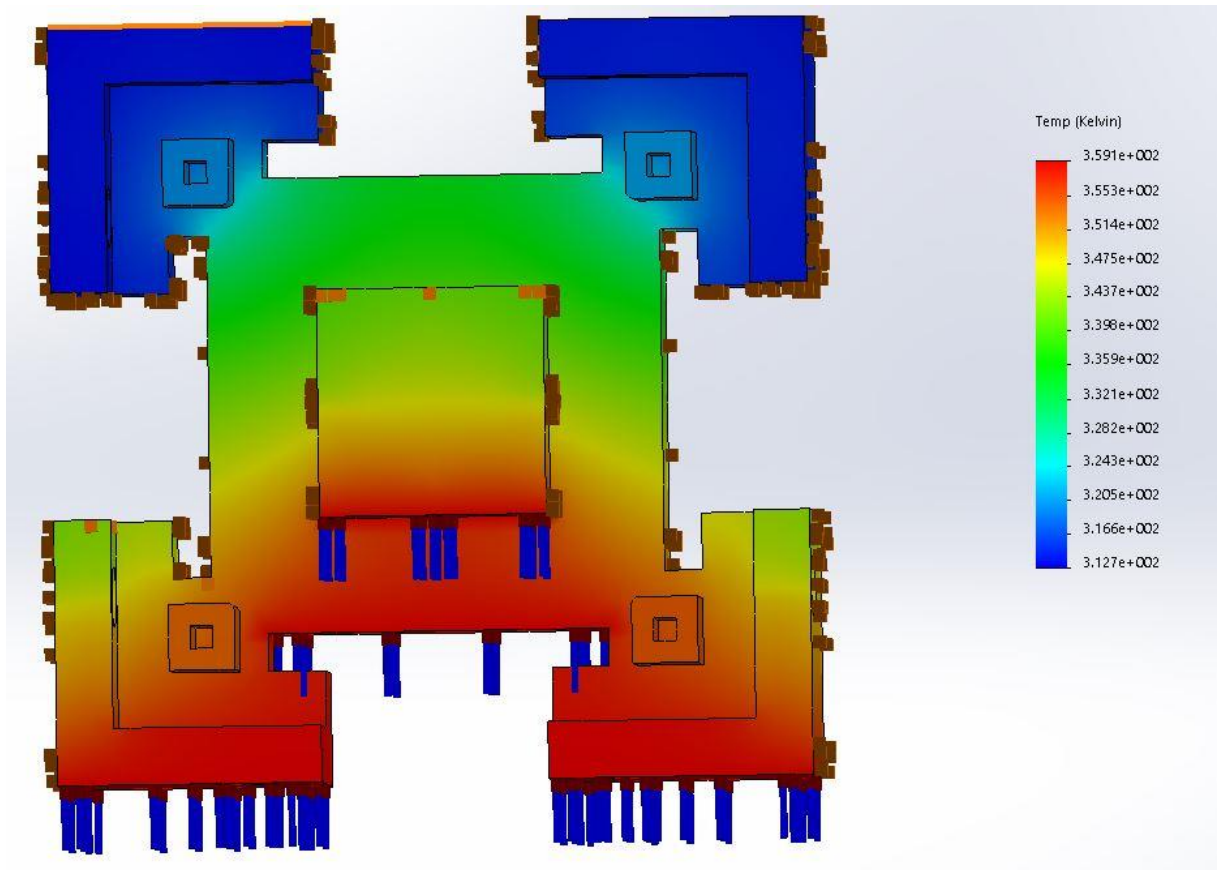
Spenningene som motoren på 60RPM 6V klarer å produsere blir for små til at de kan påvirket materialet over flytegrensen. Denne motoren leverer den effekten som kreves for å tilfredsstillere funksjon, men man kunne enten lagt til en større motor for å senke tiden det tar å rotere til ønsket kapsel, eller redesignet kaffetårnet til et design som har mindre FoS og volum. I realiteten så er størrelsene som er brukt i oppgaven påkrevd fra andre mål man måtte bruke i oppgaven og dermed så er ikke delen designet med tanke på optimalisering eller kostnad.



Figur 21 Von mises spenninger med analyse printretning til venstre og analyse med 10x krefter til højre

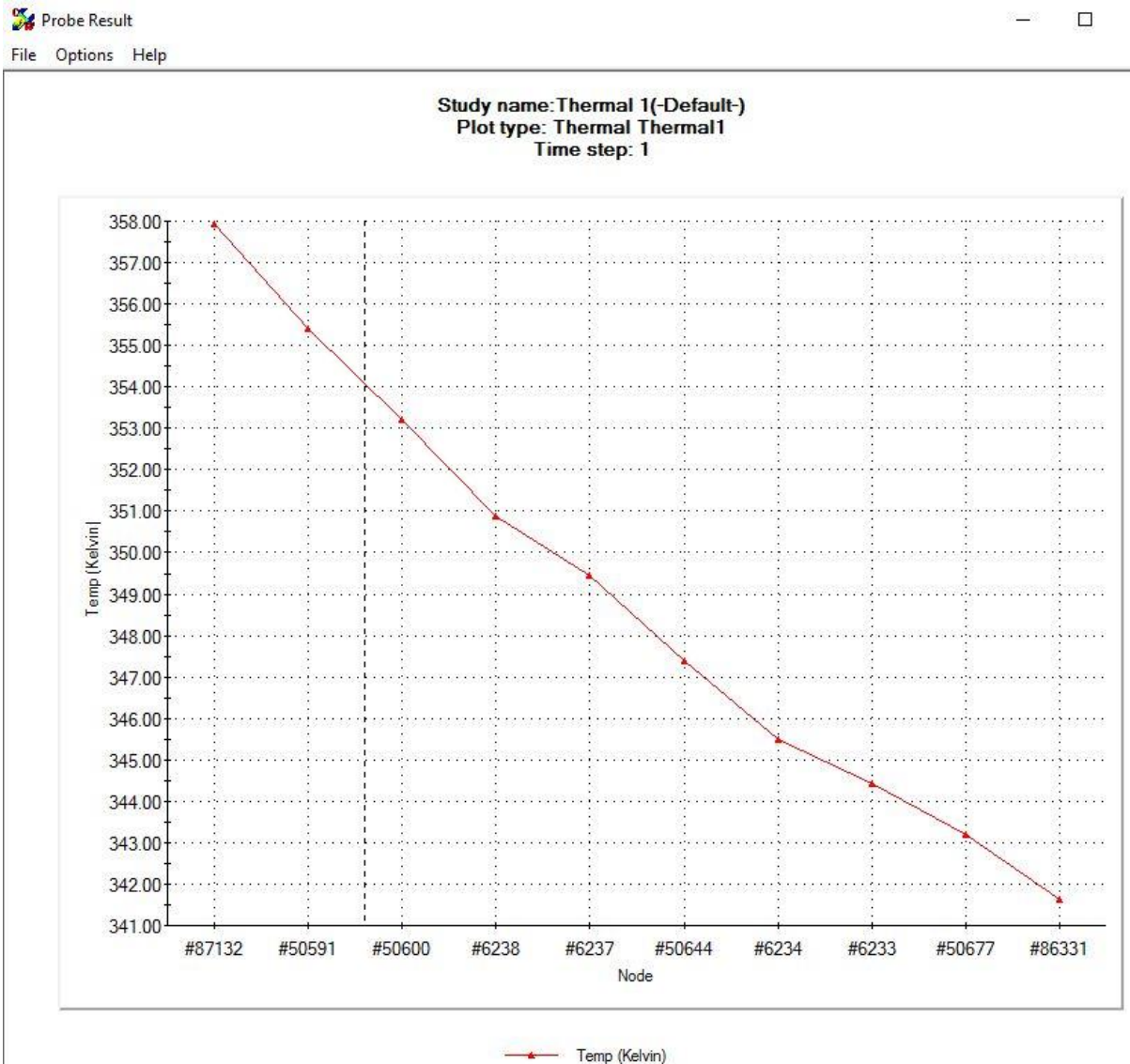
Thermal

Plast materialet har en mechanical property integrity på -20 til +80 grader celsius, det vil si at materialet fungerer optimalt i temperaturmellomsjiktet. Kaffemaskinen produserer kaffe på 86 grader og med parametrene satt tidligere i rapporten ble det utført en analyse av hvor varmt materialet blir, og om det vil ha noen effekt på de mekaniske egenskaper til delen.



Figur 22 Thermal analyse

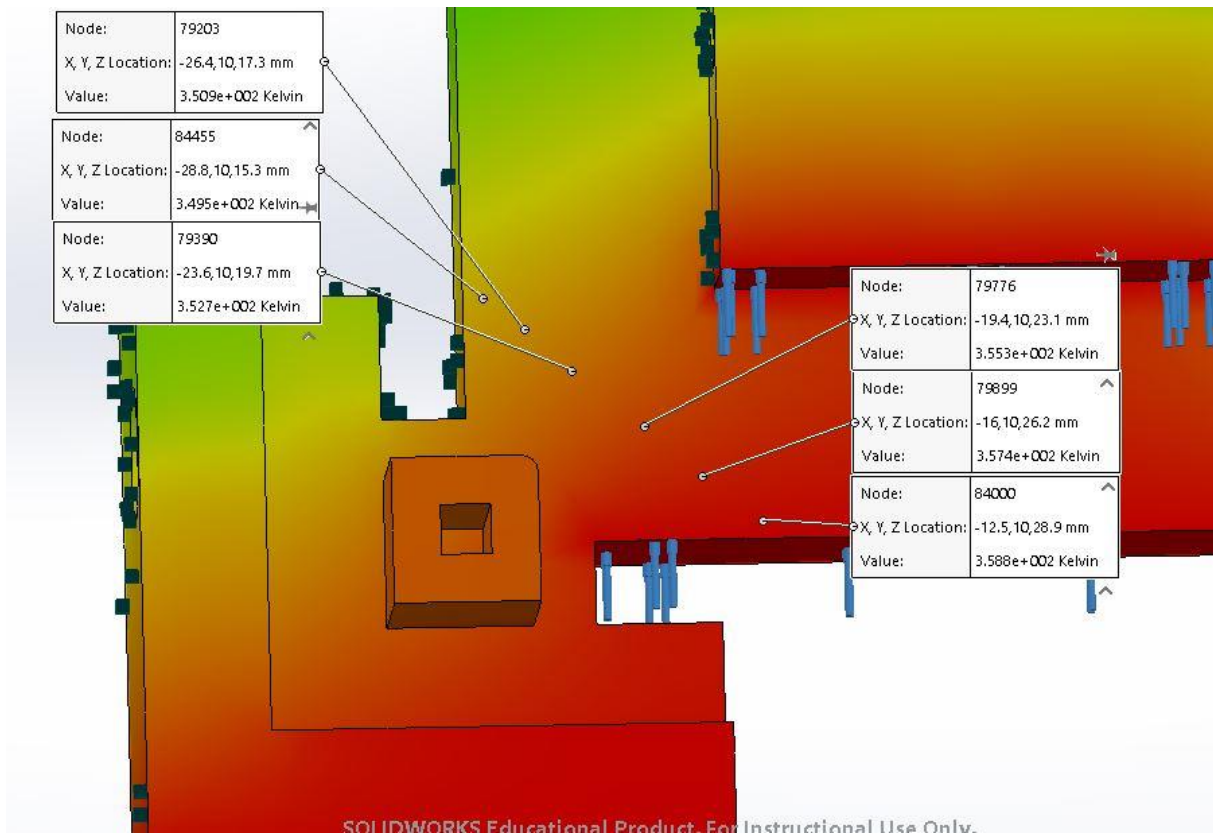
På figur 22 kan man tydelig se energioverføringen i bunnen av modellen som peker mot kaffemaskinen mens resten av modellen står i romtemperatur og vil gi fra seg varme til omgivelsene.



Figur 23 Graf noder fra kant til midt av objektet

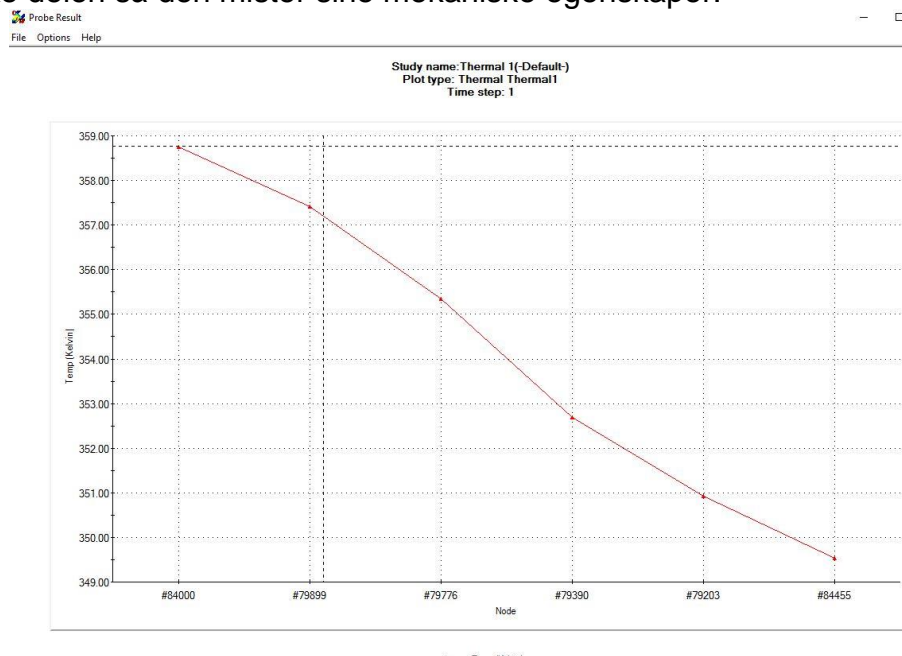
Figur 23 viser en nesten lineær nedgang hvor temperaturen synker gradvis jo lenger inn på materialet man kommer. Det eneste delen av modellen som er i faresonen er akkurat der energioverføring skjer hvor man får 358 kelvin. Plasten der vil begynne å miste sine mekaniske egenskaper.

Det som er interessant er å sjekke i kantene der geometrien er tynnest for å se om det blir temperaturer som kan påvirke stabiliteten av modellen.



Figur 24 Thermo svakt punkt

Figur 24 viser at det er en forhøyning i temperaturer men det er ikke nok til å påvirke delen så den mister sine mekaniske egenskaper.



Figur 25 Graf på Thermo svakt punkt

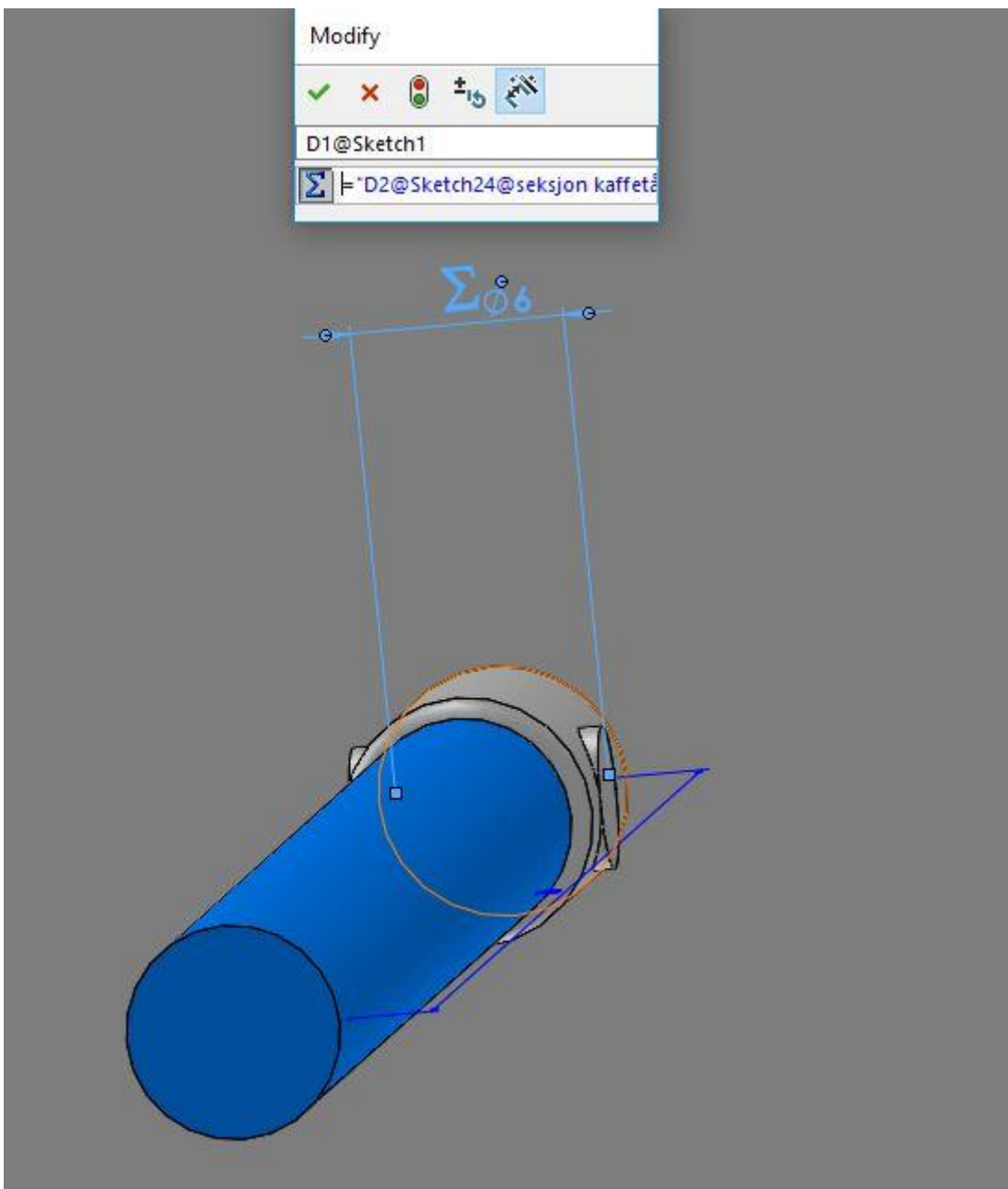
Figur 24 viser en drastisk nedgang i temperatur jo lenger vekk fra energikilden man kommer.

Optimalisering

Aksel innfestningen kan bli optimalisert til og minske volum og senke FoS for å spare materialer/kostnader. Det er noen parametere vi kan sette i Solidworks for å få analysen til å gå igjennom med bedre resultater.

1. Bolten og hullet til bolten får verdi Sum=motsatt
2. Aksel og akselhullet får verdi Sum=motsatt

Dette er slik at når programmet endrer en størrelse så vil den delen som er linket til verdien også forandre seg og designet blir forandret til et fungerende design fra starten av istedenfor å måtte fikse på deler som ikke passer.



Figur 26 Bolt og indre diameter får linket verdier.

Parameterne som blir satt er

1. Indre diameter av akselhull
2. Ytre diameter av akselhull
3. Størrelse på bolten.

Constraints:

Factor of safety mellom 4 og 10, dette vil si at det endelige resultatet må ha minimum FoS 4 og kan maksimum ha 10

Goal:

Reduce Volume, målet med analysen er å få senket volumet så mye som mulig og det blir fortalt til programmet igjennom målfunksjonen.

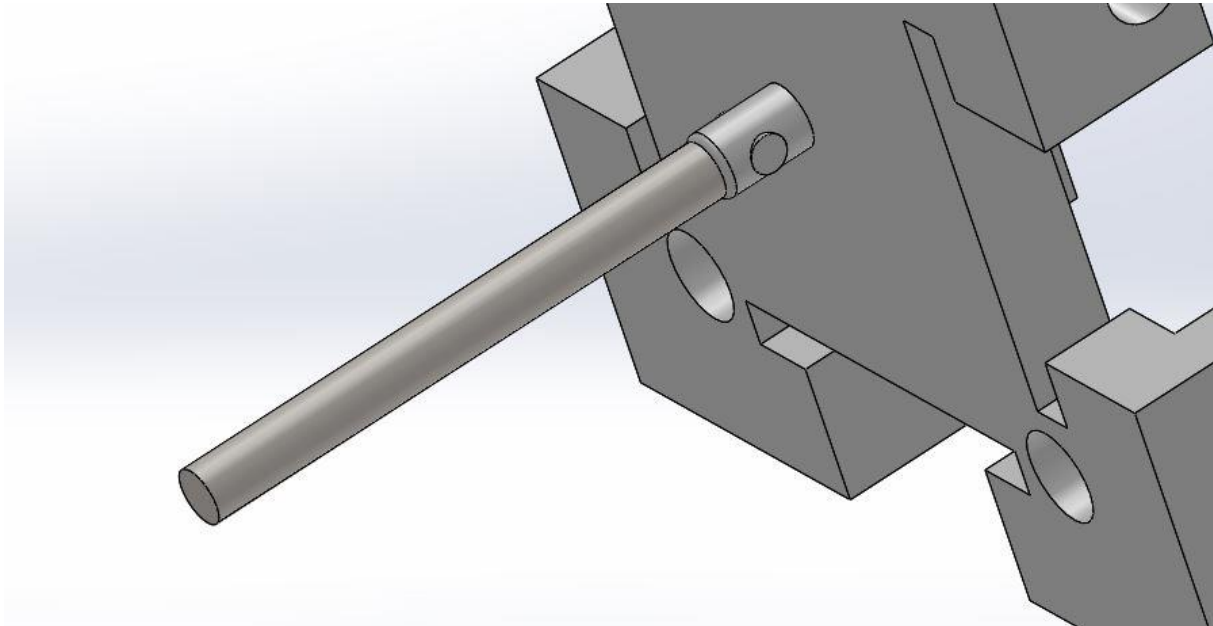
		Current	Initial	Optimal (54)
Indre		6mm	20.5mm	6mm
Ytre		7mm	24.3mm	7mm
Bolt		4mm	5mm	4mm
Minimum Factor of Safety1	(4.000000 ~ 10.000000)	4.208483	1313.699707	4.208483
Mass2	Minimize	113.383 g	277.454 g	113.383 g

Figur 27 Optimaliserings resultater

Optimaliseringen kjører analyser på 66 forskjellige resultater basert på variablene som er plottet inn. Resultatet blir at scenario 54 passer best til våre parametere hvor ytre diameter går fra 20.5 til 6mm, indre diameter blir forandret fra 24.3 til 7mm og bolten blir redusert fra 5mm til 4mm. Da vil man få en Factory of safety på 4.2 som passer godt med hva som er målet med modellen.

Modellen får også en vektreduksjon fra originale 277.454 gram til 113,383 gram dette tilsier at man sparer 164.071 gram materialet per produsert enhet. Man kan regne ut en kostnads reduksjon per enhet av dette ved at 1000 gram koster 3000 kroner så det koster 3 kroner grammet. $164.071 \cdot 3 = 492,213$ Kroner.

Ved å kjøre optimalisering og bruke denne versjonen av produktet over den gamle, får man en kostnadsbesparelse i materialer på 492 kroner. Hvis det er et produkt som skal produserer i store kvanta, så kan man spare mye penger på å optimalisere modellene man produserer.



Figur 28 Ny dimensjon på modell

Konklusjon

Analysen viser klart og tydelig at designet klarer påkjenningene det er utsatt for. Den håndterer både med tanke på fysiske påkjenninger og varmpåkjenninger. Delen er overdimensjonert og en optimaliseringsanalyse ga resultater på en versjon av kaffetårnet som ville fungert med tanke på rotasjons momentet. Ved produksjon ville man spart nesten 500 kroner i produksjons kostnader. Når det kommer til material analysen så viser resultatene at det er veldig viktig å tenke på hvordan du produserer det du skal lage og hvilken vei du printer delene. Det er en billig måte og styrke delen sin på når den svakeste retningen har Yield strength på 17Mpa mens den sterkeste har 30Mpa. Bruk av den sterkeste retningen fører til at du kan spare materialer og dermed materialkostnader i tillegg til volum. Termo analysen viser også at Modellen vil få litt varme over hva som begynner og forandre de mekaniske egenskapene, men dette er ikke høyt nok eller har innvirkning på stort nok areal av modellen for å ha noen betydning.

Modellen klarer fint det den er designet for, men det er mye rom for forbedring med tanke på kostnadseffektivitet.

Kilder

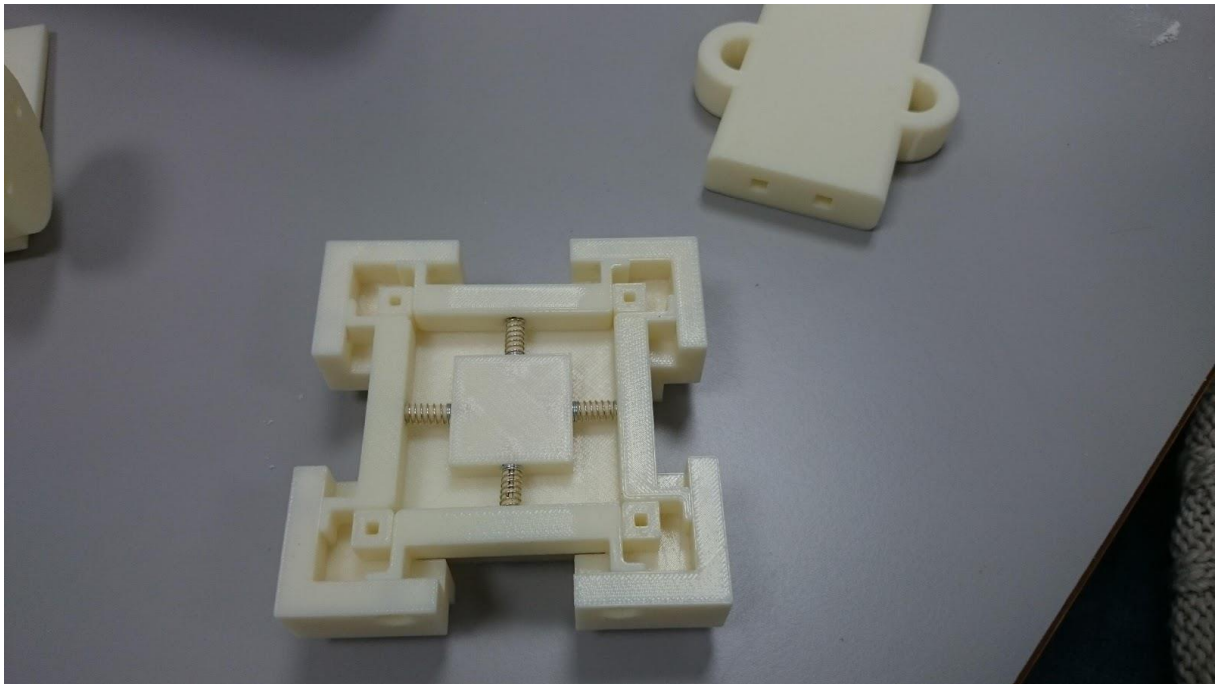
<http://www.robotshop.com/blog/en/how-do-i-interpret-dc-motor-specifications-3657>.
<http://www.ebay.com/itm/12V-DC-110RPM-Torque-Gear-Box-Electric-Motor-New-/260775064334?hash=item3cb767b30e:g:TGkAAOSwuhhXXQC~&autorefresh=true>
https://www.youtube.com/watch?v=Cdqb_c2eJ3w
https://www.howson.me/content/images/2016/06/service_manual_nes_u.pdf
<http://www.thermopedia.com/content/841/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene
<http://nicklievendag.com/filament-guide/>
http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/SDS/P430_ABS_M30_ABS_Model/400626_0011_REV_A_NO.pdf?v=636069339197792191
http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/SDS/P430_ABS_M30_ABS_Model/400626_0011_REV_A_NO.pdf?v=636069339197792191
Mail og telefon korrespondanse med Stratasys

Vedlegg

For kalkulasjonene i solidworks er det blitt brukt:

1. Soft spring
2. Automatic solver selection
3. ingen large displacement da den ikke fungere med kulelager.

Strekprøvemaskinen ble det gitt opplæring fra Tinius Olsen fagskole og det ble skrevet en instruksjons manual på hvordan man bruker maskinen.



Figur 29 Modellen ferdig produsert