

# Virtuell produktutveckling av en plastprodukt

Malte Carmén och Henric Bergkvist

AVDELNINGEN FÖR PRODUKTUTVECKLING | INSTITUTIONEN FÖR  
DESIGNVETENSKAPER  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA | LUNDS UNIVERSITET  
2024

EXAMENSARBETE



# Virtuell produktutveckling av en plastprodukt

Utveckling av en vinkork i plast genom användandet av  
avancerad simuleringsmjukvara

Malte Carmén och Henric Bergkvist



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Virtuell produktutveckling av en plastprodukt

Utveckling av en vinkork i plast genom användandet av avancerad simuleringsmjukvara

Copyright © 2024 Malte Carmén och Henric Bergkvist

*Publicerad av*

Institutionen för designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet  
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Produktutveckling (MMKM05)  
Avdelning: Avdelningen för produktutveckling  
Huvudhandledare: Axel Nordin  
Bitr. handledare: Joze Tavcar  
Examinator: Per Kristav

# Abstract

Traditional product development tends to heavily rely on physical prototyping and testing to present concepts, improve design, and calibrate manufacturing settings. This project aims to explore and evaluate a virtualization of prototype development and testing of a plastic product to evaluate if it results in a faster product development process and savings in development costs, as well as a more robust product design and more optimized manufacturing settings.

In collaboration with Nolato MediTech, a plastic wine cork has been developed using advanced simulation software and Nolato's virtual design improvement methodology. The goal with the project was to deliver a robust design that is guaranteed to be able to be manufactured in an economically sound way, using a fraction of the time and resources needed for more conventional, physical, product development. To accomplish this, software such as SolidWorks, Ansys Workbench, Moldex 3D, and GOM software has been utilized in conjunction with each other to gradually make a more robust design of a wine cork.

The project resulted in a product design that is expected to manage implementation in Nolato's manufacturing chain, with reservation for minor design improvements in the future. The project has exemplified how injection moulded products can be developed without involvement of physical testing and prototyping, and it has highlighted important insights related to the utilization of simulation software in the design process.

**Keywords:** product development, injection moulding, simulation, finite element method, wine cork

# Sammanfattning

Traditionell produktutveckling har en tendens att förlita sig på fysiska prototyper och produkttester för att kunna presentera koncept, förbättra design och kalibrera tillverkningsinställningar. Detta projekt undersöker och utvärderar en virtualisering av prototypframtagning och testning av en plastprodukt för att se om det kan resultera i en snabbare produktframtagning och besparingar av utvecklingskostnader, såväl som en robustare produktdesign och mer optimerade tillverkningsinställningar.

Tillsammans med Nolato MediTech har en vinkork i plast utvecklats genom att använda avancerad simuleringsmjukvara och Nolato's virtuella designförbättringsmetodik. Målet med projektet har varit att kunna leverera en robust design som med säkerhet går att tillverka på ett ekonomiskt försvarbart sätt till en bråkdel av den tid och de resurser konventionell fysisk produktutveckling hade krävt. För att genomföra detta projekt har mjukvaror som SolidWorks, Ansys Workbench, Moldex 3D och GOM software använts i samspel med varandra för att över tid ta fram underlag till en gradvis mer robust design av en vinkork.

Resultatet blev en produktdesign som förväntas klara av implementation i Nolato's tillverkningskedja, med förbehåll för mindre justeringar i framtiden. Projektet har exemplifierat hur formsprutade produkter kan utvecklas utan inblandning av fysiska tester och prototyper och belyst viktiga lärdomar kring samverkan av simuleringsmjukvara och designprocessen.

**Nyckelord:** produktutveckling, formsprutning, simulering, FEM, vinkork

# Erkännanden

Ett stort tack till Nolato MediTech i Hörby och alla medarbetare på TDC för möjligheten att skriva detta examensarbete och för stödet som vi har fått. Särskilt vill vi tacka Jörgen Nilsson, Jonas Holme och Peter Juter som direkt har bidragit till denna rapport med sin expertis och tid, men framför allt vill vi rikta ett enormt tack till vår handledare på Nolato, Patrik Ingvarsson, som har guidat oss genom detta arbete och säkerställt att vi har haft alla möjligheter till att lyckas.

Därtill vill vi också tacka våra handledare på LTH, Axel Nordin och Joze Tavcar, som har tillfört mycket värdefull input och feedback på såväl rapporten som de ingående aktiviteterna under examensarbetets gång.

Slutligen vill vi tacka alla inom industrin och akademien som fortsätter att driva utvecklingen av produktutvecklingsområdet framåt, för att säkerställa väl framtagna produkter som samhället och världen i stort kan dra nytta av.

Lund, maj 2024

Malte Carmén och Henric Bergkvist

# Innehållsförteckning

Akronym- och förkortningslista	11
Introduktion	12
1.1 Bakgrund – Traditionell produktutveckling	12
1.2 Projektet	12
1.3 Målsättning och avgränsningar	13
1.4 Rapportens struktur	14
2 Teori	16
2.1 Konceptteori	16
2.1.1 Konceptgenerering	16
2.1.2 Konceptval	18
2.2 Designteori	19
2.2.1 Designregler för plasttillverkning	19
2.2.2 Design for manufacturing (DFM)	24
2.3 Tillverkningsteori	24
2.3.1 Formsprutning	24
2.4 Materialteori	27
2.4.1 Polymera material	27
2.4.2 Bioplaster	29
2.5 Simuleringar	30
2.5.1 Konstruktionsanalys	30
2.5.2 Formfyllnadsanalys	32
3 Metod	34
3.1 Tidsplanering	34
3.2 Koncept-och designframtagning	34
3.3 Datorbaserad analys	35

3.3.1 Konstruktionsanalys	35
3.3.2 Formfyllnadsanalys	37
3.3.3 Mått-och toleransanalys	40
3.4 Iterativ produktutveckling	40
4 Koncept- och designarbete	42
4.1 Fastställande av intressenterna och kundens krav	42
4.1.1 Kundkrav	42
4.1.2 Intressenternas krav	42
4.1.3 Målspecifikation	42
4.2 Konceptgenerering	43
4.2.1 Tappen	44
4.2.2 Kranen	45
4.2.3 Kryddan	46
4.2.4 Knäppen	47
4.2.5 Bågen	48
4.3 Konceptval	49
4.4 Designgenerering	50
4.5 Designval	50
4.5.1 Design	51
4.5.2 Brandpost	52
4.5.3 Monteringsmekanism	53
4.5.4 Rotationsmekanism	54
4.5.5 Flaskmonteringsmekanism	55
4.5.6 Ytterligare funktioner	57
4.5.7 Materialval	57
4.5.8 Verktygskoncept	58
5 Simuleringsarbete	61
5.1 Konstruktionsanalys	61
5.1.1 Montering kropp och ventil	62
5.1.2 Avmontering kropp och ventil	63



5.1.3 Rotation kropp och ventil	64
5.1.4 Montering och avmontering kropp och flaska	65
5.1.5 Designförändringar med hjälp av konstruktionsanalys	66
5.2 Formfyllnadssimulering	67
5.2.1 Designförbättringar	67
5.2.2 Processförbättring via DOE	70
5.3 Mått-och toleransanalys	71
5.3.1 Kritiska mått	71
5.3.2 Konstruktionsanalys	72
5.3.3 Formfyllnadssimulering	73
6 Resultat	75
6.1 Produktbeskrivning	75
6.2 Simuleringsresultat	76
6.2.1 Konstruktionsanalys	76
6.2.2 Formfyllnadssimulering	85
6.3 Mått-och toleransanalys	105
6.3.1 Fastställande av toleranser genom konstruktionsanalys	105
6.3.2 Resultat från mätningen	106
7 Diskussion	114
7.1 Virtuellt produktutveckling	114
7.1.1 Fördelar	114
7.1.2 Nackdelar	115
7.2 Den iterativa processen	116
7.3 Resultatet	117
7.4 För framtida projekt	118
8 Slutsats	119
8.1 Utvärdering av målen	119
Referenslista	121
Bilaga A Arbetsfördelning mellan examensarbetarna och tidplan	123
A.1 Arbetsfördelning mellan examensarbetarna	123

A.2 Antagen tidplan och faktiskt utfall	123
Bilaga B Koncept- och designarbete	126
B.1 Kundpåstående – Kundkrav	126
B.2 Gradering kundkrav	127
B.3 Intressenternas krav	127
B.4 Målspecifikation	128
B.5 Concept scoring	128

# Akronym- och förkortningslista

CAD	Computer-aided design
CAE	Computer-aided engineering
CFD	Computational Fluid Dynamics
DOE	Design of Experiments
EOC	End of Cooling
EOF	End of Filling
EOP	End of Packing
FEM	Finita elementmetoden
HDPE	Högdensitets polyeten
LDPE	Lågdensitets polyeten
MFI	Melt flow index
PP	Polypropen
PVC	Polyvinylklorid
R&D	Research and Development
TDC	Technical Design Centre på Nolato MediTech

# Introduktion

## 1.1 Bakgrund – Traditionell produktutveckling

Vägen från initial idé till färdigställd produkt är en väl bevandrad en och även fast den kan ta olika former beroende på såväl produkt som människorna bakom den följer den i regel ett och samma mönster:

Idé – koncept – prövning – justering – lansering.

Denna väg, denna process, innehåller självklart flera delmoment som även de kan variera beroende på produkt och utvecklingsfilosofi. För historiens uppfinnare var till exempel prototypframtagning av mycket stor betydelse då det var det enklaste och mest beprövade sättet att få reda på om ens uppfinning eller produkt fyllde sin tänkta funktion. Processen var ofta spretig och iterativ och krävde många omprövningar och justeringar till prototyperna innan det gick att uppnå ett önskvärt resultat, något som både tog lång tid och krävde omfattande resurser.

Modern produktutveckling är mer optimerad. Med utvecklingsmodeller, verksamhetsplaner och specifika avdelningar för Research and Development (R&D) har vägen från idé till produkt effektiviserats avsevärt och går numera mer i linje med hur resten av samhället och industrin ter sig. Effektivt, snabbt och gärna till lägsta kostnad.

Vad är då nästa steg för nutidens produktutveckling? Hur ser framtidens vägar och processer ut? Ingen kan med säkerhet förutspå framtiden och dess osäkerheter, men ser utifrån de trender som finns i samhället och i industrin går det att konstatera att hållbarhet och ansvarsfullt resursnyttjande blir mer och mer invävt i det vardagliga beslutsfattandet. Varför skulle produktutveckling följa någon annan trend?

Som tidigare konstaterats kan produktutveckling bli både dyrt och tidskrävande om det krävs upprepade iterationer av prototypframställning och tester, vilket kan vara ett måste i vissa situationer. Hur är det möjligt att kringgå detta?

## 1.2 Projektet

Med dagens avancerade modellerings-och simuleringsprogram går det teoretiskt sett att gå hela vägen genom produktutvecklingsprocessen utan att en enda gång

behöva skapa en fysisk prototyp eller göra fysiska tester på produkten för att se om resultatet uppfyller förväntningarna. Och det är precis det som ska testas i detta projekt.

Projektet går ut på att ta en produktidé hela vägen från koncept till produktion genom att endast använda virtuella modeller och simuleringar i syftet att demonstrera simuleringsmjukvarors kapacitet för komplett produktutveckling, samt undersöka den virtuella produktutvecklingens påverkan på tid-och resursåtgång. Utvecklingstiden uppskattas att effektiviseras genom att låta beräkningsdatorer genomföra annars tidskrävande produkttester. Materialanvändningen och utvecklingskostnaderna beräknas minimeras då inget material förbrukas vid tillverkning av prototyper, inga maskinkostnader uppstår vid testning eller drift och inga verktygskostnader uppstår genom upprepade designförändringar av produkten.

I samarbete med Nolato MediTech AB i Hörby och deras tekniska avdelning (TDC) skall en enklare plastprodukt utvecklas och göras redo för realisering. Plastprodukten har ett antal krav som måste uppfyllas, som till exempel att den ska bestå av minst två olika komponenter, vara tillverkade i två olika sorters plastmaterial och inkludera någon form av mekanisk rörelse eller mekanism. Därtill skall produkten gärna vara estetiskt tilltalande och ha ett lättsamt utseende. Exakt vilken sorts produkt och funktion som produkten ska uppfylla är inte sedan tidigare bestämt, men Nolatots förslag om att utveckla en vinkork anammades tidigt.

För att genomföra projektet krävs ett antal virtuella verktyg, bland annat ett modelleringsverktyg med computer-aided design (CAD) för att modellera produkten, ett konstruktionsanalytiskt verktyg som använder sig av finita elementmetoden (FEM) för att kontrollera produktens hållfasthet, ett formfyllnadsprogram för att simulera tillverkningsprocessen och kompensera för avvikelser och till sist ett mått-och toleransverktyg för att garantera funktionalitet och montering av produktens ingående delar.

En stor påverkande faktor i detta projekt är att konstruktionen skall ske i polymera material. För detta krävs det att ett antal fenomen som inte hade varit lika framträdande i traditionell avverkande bearbetning, tas i beaktning. Ett exempel på ett sådant fenomen är krympning av materialet efter formgivning, som får stor påverkan på utformningen och designen av detaljen.

### 1.3 Målsättning och avgränsningar

Det övergripande målet med projektet är som tidigare konstaterat, att ta en produkt hela vägen från idé till realisering endast med stöd av virtuella hjälpmedel och verktyg. Vid projektets slut skall det finnas tillräckligt med underlag så att produktion genast kan påbörjas, utan behov för vidare tester eller större justeringar

av produktdesignen. Med det följer tre delmål som skall uppnås för att projektet skall anses vara lyckat. Dessa delmål är:

- Den virtuella utvecklingsprocessen skall väl demonstrera simuleringsverktygens inverkan på traditionell produktutveckling.
- Nolato MediTech skall förses med tillräckligt gott underlag för att påbörja produktion av produkten utan vidare investeringar i utvecklingsprocessen.
- Produkten skall uppfylla sin tänkta funktion och alla produktkrav som ställts av intressenter.

För att säkerställa att dessa delmål har så goda förutsättningar som möjligt för att uppnås har en del avgränsningar behövt göras. Dessa avgränsningar har i största grad uppstått på grund av den begränsade tid projektet utförts under. En sådan avgränsning är att begränsa ramen för projektet till att endast inkludera produktutvecklingsprocessen och inte realiseringsprocessen eller moment därefter. Andra avgränsningar har haft med projektets budget att göra. En sådan avgränsning har att göra med produkten i sig, där konstruktionen har begränsats till endast två ingående komponenter för att minimera verktygskostnader.

## 1.4 Rapportens struktur

Rapporten är strukturerad enligt följande:

I kapitlet ”Teori” listas all relevant vetenskap, litteratur och mjukvara i syftet att ge läsaren en förståelse vilken kunskap som är relevant för att ta sig an ett likartat projekt. Till skillnad från kapitlet ”Metod”, som beskriver det mer handfasta tillvägagångssättet som använts, kommer detta kapitel att mer likna en sammanfattning av bakomliggande kunskap som nyttjats under projektets gång. Det kommer innefatta och beskriva teori och modeller för idé- och konceptgenerering, designfilosofier och viktiga designpunkter, materialval- och beteenden, tillverkningsprocessen och grundläggande information om hur de olika simuleringsmjukvarorna fungerar.

Kapitlet ”Metod” presenteras de övergripande metoder som har varit i användning och har applicerats i projektet. Där kommer även relevanta modeller och teorier som påverkat den valda metoden att nämnas, men inte beskrivas i detalj. Kapitlet behandlar den väg som projektet har färdats längs och innefattar konceptgenerering och urvalsprocessen, utvecklingsmetodiken, samt hur aktuell mjukvara har nyttjats, vilka inställningar som har använts och vilka resultat som har varit av särskilt intresse för detta projekt. Allt för att ge läsaren en möjlighet att följa och/eller efterlikna denna process så goda förutsättningar som möjligt.

Kapitel 4 och 5 beskriver utvecklingsprocessen mer ingående där alla steg i den beslutsfattande och iterativa processen redovisas.

I kapitel 6, "Resultat", kommer den slutgiltiga produkten att presenteras och tidigare kapitel att sammankopplas till en stor helhet.

Slutligen kommer en diskussion kring projektet och alla dess aspekter och utmaningar. Där kommer även diskuteras hur examensarbetet kunde ha utförts annorlunda och hur det går att bygga vidare på examensarbetet i framtiden.

I slutsatsen utvärderas de satta målen för examensarbetet, huruvida de har uppnåtts och lärdomar för framtida projekt listas.

# 2 Teori

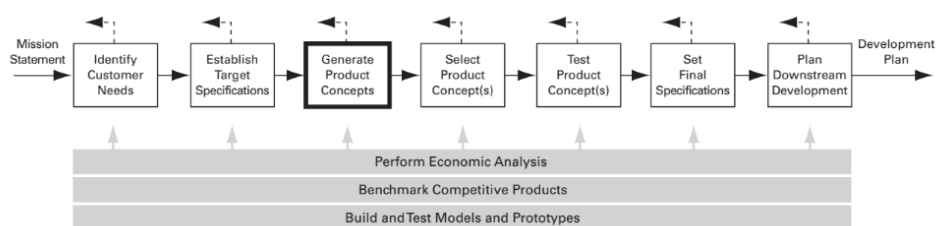
## 2.1 Konceptteori

Ett koncept, enligt Ulrich och Eppinger (2000), är en ungefärlig beskrivning av en tänkt produkts teknik, funktion och utformning. Konceptet ska även fånga det tänkta kundbehov och användningsområde som produkten avser. Konceptet kan presenteras genom såväl en enklare ritning som en 3D-modell med tillhörande beskrivning.

En stor del av produktutvecklingens aktiviteter är beroende på det initiala konceptarbetet och ett bra koncept kan implementeras på ett mer eller mindre lyckat sätt men ett dåligt sätt kan sällan implementeras över huvud taget. Därtill brukar konceptarbetet kosta relativt lite och ta relativt lite tid jämfört med andra aktiviteter i utvecklingsprocessen. I och med dess låga kostnad finns det därmed ingen ursäkt för att inte genomföra konceptarbetet så utförligt och noggrant som möjligt. (Ulrich & Eppinger, 2000)

### 2.1.1 Konceptgenerering

Konceptgenereringen, se Figur 2.1, inleds med att identifiera kundbehovet och krav- och målspecifikationer för den tänkta produkten. Resultatet av konceptgenereringen är ett antal olika produktkoncept där ett urval får göras, för att vidare utveckla och förfina det bästa av framtagna koncept. (Ulrich & Eppinger, 2000)



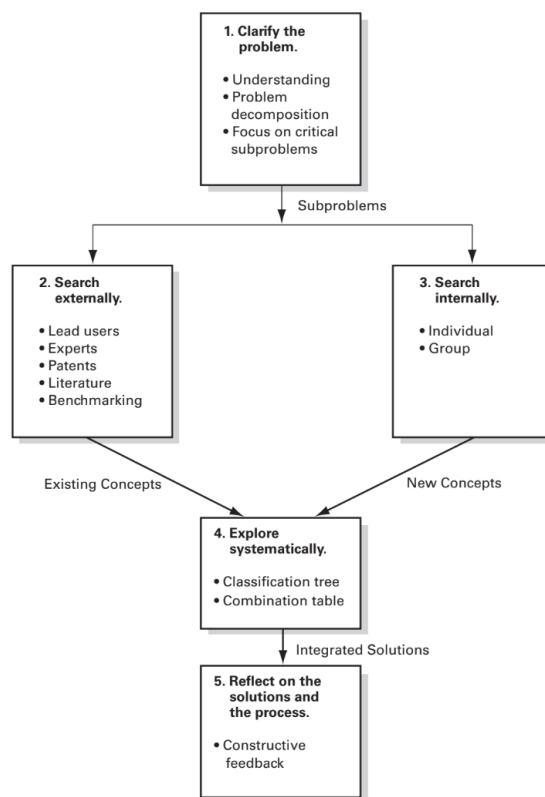
**Figur 2.1: Produktutvecklingens olika stadier illustrerat, med konceptgenereringen inringat (Ulrich & Eppinger, 2000).**

För att undvika tidskrävande misstag under konceptgenereringsstadiet är det av stor vikt att hålla sig till ett strukturerat tillvägagångssätt. Görs inte detta finns risken att



till exempel endast ett eller två koncept övervägas (som ofta förespråkas av den mest påstridiga gruppmedlemmen) eller helt förbise hela kategorier med användbara koncept (Ulrich & Eppinger, 2000). Om en tidigare bestämd och strukturerad metodik följs minskar risken för dessa felsteg.

En sådan strukturerad metodik är en 5-stegsmetod som föreslås av Ulrich och Eppinger (2000). Denna metod delar in konceptgenereringens process i mindre mer hanterbara underaktiviteter, samtidigt som den genomlöpande håller arbetet strukturerat. Dessa fem steg presenteras i Figur 2.2: 5-stegsmetoden som förespråkas av Ulrich och Eppinger (2000).



**Figur 2.2: 5-stegsmetoden som förespråkas av Ulrich och Eppinger (2000)**

Det första steget är ett förtydligande av problemet i fråga. Det handlar om att skapa sig en förståelse för uppgiften, att dela upp problem i delproblem och att skapa sig en prioriteringslista över vilka delproblem som är viktiga och vilka som inte är det.

Steg två består av en extern informationssökning, för att se hur andra redan existerande lösningar kan se ut. Detta kan göras genom konsultationer med experter, patentsökningar, litteraturstudier, med mera.

Steg tre är det interna problemlösningen, där gruppen själva spånar och producerar nytänkande lösningar på produktens existerande delproblem.

I steg fyra kombineras informationen vunnit från steg två och tre där lösningar och idéer kan börja ställas mot varandra och jämföras. Detta kan ske genom användandet av olika matriser och tabeller, i syftet att försöka urskilja de bästa lösningarna på produktens olika delproblem. Dessa dellösningar kan sedan kombineras till en stor lösning, ett redo koncept.

Slutligen, i steg fem, sker en reflektion över de tidigare stegen och lärdomarna som skapats till följd. Här kan gruppen ställa kritiska frågor till sig själva, så som om de verkligen har utforskat alla möjliga koncept som går att finna eller om alla koncept som teamet själva har kommit med har accepterats och integrerats i processen.

### 2.1.2 Konceptval

När flera koncept har ansamlats är det dags att bestämma vilket eller vilka koncept som har störst förtroende och potential för att ta vidare i utvecklingsprocessen. Detta sker genom ett konceptval, där det finns flera olika metoder att använda sig av i sin urvalsprocess. Det finns bland annat en metod som förlitar sig på att gruppens mest erfarna och seniora medlem självständigt fattar ett beslut om vilket koncept som är bäst. En annan metod är mer demokratisk, där alla i gruppen har lika stort inflytande och valet sker genom röstning. Andra metoder baserar sitt beslut i till exempel prototyptester eller kundundersökningar. Det finns inget som säger vilken av dessa metoder som är ”bäst”, men metoden som förespråkas av Ulrich och Eppinger är en där beslutet grundas i beslutsmatriser där varje koncept utvärderas utifrån flera faktorer och kriterier.

Fördelarna med en strukturerad metod, som den som förespråkas av Ulrich och Eppinger, är flertaliga. Produkten blir mer kundfokuserad, då tidigare nämnda faktorer och kriterier grundar sig i kunders åsikter. Produkten blir mer konkurrenskraftig, då redan existerande produkter kan ställas upp och jämföras mot de tänkta koncepten och utvärderas efter samma kriterier. Dessutom blir urvalsprocessen mer effektiv, då diskussionerna och besluten grundar sig i koncepten och kriterierna i sig och inte i personliga åsikter eller inflytande. (Ulrich & Eppinger, 2000)

Ulrich och Eppingers föreslagna urvalsmetod består av två aktiviteter med sex steg vardera. Dessa två aktiviteter är ”concept screening” och ”concept scoring”, där koncepten först sällas grovt för att bli av med direkta ”förlorare” för att sedan genomgå en mer utförlig urvalsprocess. Dessa sex steg, som båda aktiviteterna har gemensamt är:

1. Förbered en urvalsmatris.
2. Betygsätt koncepten.
3. Ranka koncepten (utifrån betygen).

4. Kombinera och förbättra koncepten.
5. Välj ett eller flera koncept.
6. Reflektera över resulterande koncept och processen.

Det ska tilläggas att metoden som förespråkas skall användas som en beslutsfattande grund för gruppen och inte som ett facit. Den ska förse gruppen med ett gott underlag för vidare diskussion och beslutsfattande. Den fungerar som bäst om gruppmedlemmarna har varierande bakgrund och område av expertis. (Ulrich & Eppinger, 2000)

## 2.2 Designteori

### 2.2.1 Designregler för plasttillverkning

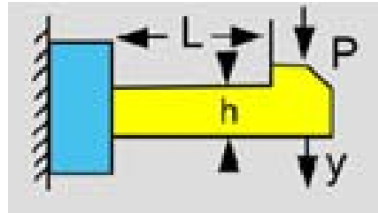
Förutom begränsningar i tillverkningen kopplat till material, som beskrivs mer ingående i kapitel 2.4.1, tillkommer en hel del begränsningar på produktdesignen som följd av formsprutmaskinen och verktyget. Som senare kommer nämnas har maskinen flera tillverkningsparametrar kopplat till sig, vilket betyder att designen måste anpassas för att förhålla sig till maskinens begränsningar. Detsamma gäller för verktyget, som har egna begränsningar kopplat till framför allt sin geometri och materialegenskaper. Boothroyd, Dewhurst och Knight (2001) listar sex riktlinjer för design av en produkt vid formsprutning för att underlätta produktutvecklingsprocessen. Dessa riktlinjer listas i Tabell 2.1:

**Tabell 2.1: Riktlinjer för design av formsprutade produkter (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001).**

<i>Riktlinje</i>	<i>Förklaring</i>	<i>Påverkade designparametrar</i>
1	<p>Utforma detaljen med övergripande jämn tjocklek på materialet. Detta kommer resultera i minskad deformation av detaljen på grund av det mer jämna kylförloppet.</p> <p>Se även till att designa detaljens ytor och väggar med en släppvinkel, så detaljen lättare kan lossa från verktyget.</p>	<p>Vägg tjocklek</p> <p>Övergripande geometri</p>
2	<p>Välj ett material och primär vägg tjocklek utifrån minsta möjliga kostnad. Värt att notera att ett dyrare material kan möjliggöra tunnare väggar, vilket i sin tur kan spara material och pengar, samt möjliggöra en kortare cykeltid.</p>	<p>Vägg tjocklek</p> <p>Materialval</p>
3	<p>Designa vinkelräta väggar från den primära väggen med en tjocklek på idealt halva tjockleken av den primära väggen och inte tjockare än två tredjedelar av den primära väggens tjocklek. Detta kommer jämna ut kyltiden i de punkter materialet möts vinkelrätt och har en större tjocklek som följd.</p>	<p>Vägg tjocklek</p>
4	<p>Om möjligt, placera utstickande delar i designen så de ligger antingen i eller vinkelrätt mot delningsplanet. Detta minskar på komplexiteten av verktyget och undviker dyra lösningar.</p>	<p>Komplexitet av geometri</p> <p>Orientering av geometri</p>
5	<p>Undvik urgröpnings, försänkningar, eller andra nedtryckningar på detaljens insida. Mekanismerna som krävs för att göra sådant är mycket dyra att tillverka och svåra att underhålla.</p>	<p>Utformning av insida detalj</p>
6	<p>Vid design av utvändiga gängor, placera gängningen i riktningen av det tänkta delningsplanet. Gör detta för att minska problematiken som beskrivs i riktlinje 4.</p>	<p>Gängning</p>

### 2.2.1.1 Snap fit

Snap fits/joints är en vanlig monteringsmetod. På grund av plasters låga styvhet gör de sig väldigt lämpliga som material för snap fits. Det finns många olika varianter av lösning med snap fits, cantilever snap joint, torsion snap joint och annular snap joint är några exempel. (Massachusetts Institute of Technology, n.d.) Den enklaste snap fit ser ut som i Figur 2.3:



Figur 2.3: En enkel snap fit (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)

Det finns samband för att beräkna monteringskraften för en sådan snap fit (Massachusetts Institute of Technology, n.d.):

$$P = \frac{b * h^2}{6} * \frac{E_S * \varepsilon}{l} \quad (2.1)$$

Där följande variabler används:

$P$  = böjkraft

$b$  = bredd snap fit

$h$  = tjocklek snap fit

$E$  = E-modul

$\varepsilon$  = tillåten töjning

$l$  = längd snap fit

Böjkraften i Ekvation 2.1 påverkas av flera olika parametrar såsom geometrin på haken samt materialegenskaperna. (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)

$$W = P * \tan(\alpha + p) = P * \frac{\mu + \tan(\alpha)}{1 - \mu * \tan(\alpha)} \quad (2.2)$$

Där följande variabler används:

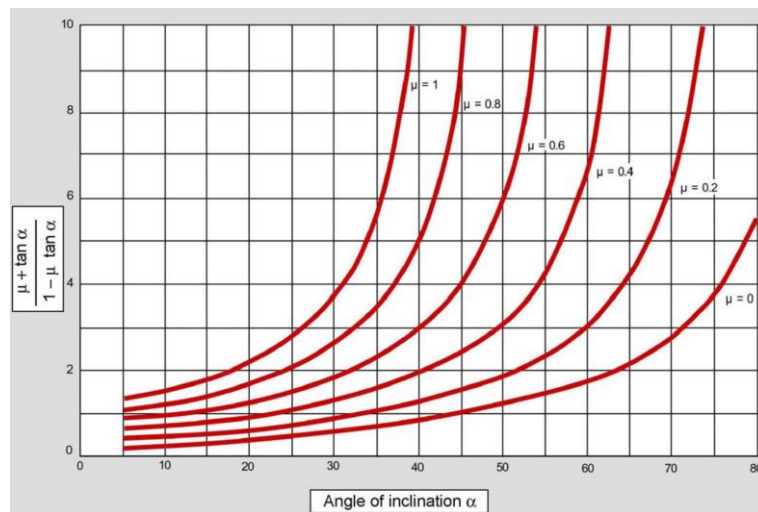
$W$  = monteringskraften

$\alpha$  = ingångsvinkeln

$\mu$  = friktionstalet

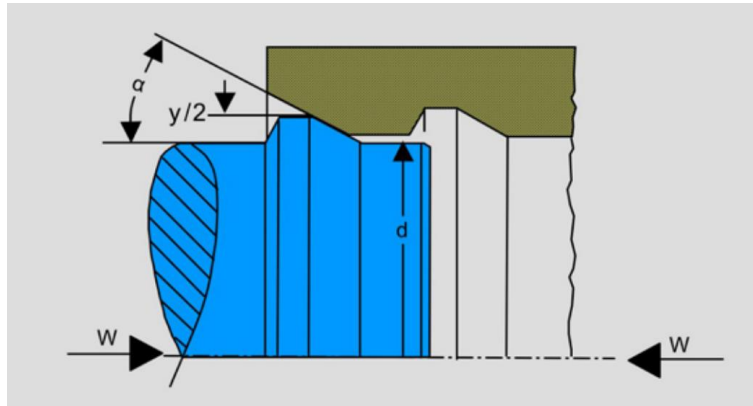
$P$  = böjkraften

Monteringskraften i Ekvation 2.2 beror på böjkraften, ingångsvinkeln och friktionstalet. Av sambandet i **Error! Reference source not found.** följer att en större ingångsvinkel och högre friktionstal innebär ett högre värde på  $\frac{\mu + \tan(\alpha)}{1 - \mu \tan(\alpha)}$  vilket leder till en högre monteringskraft. (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)



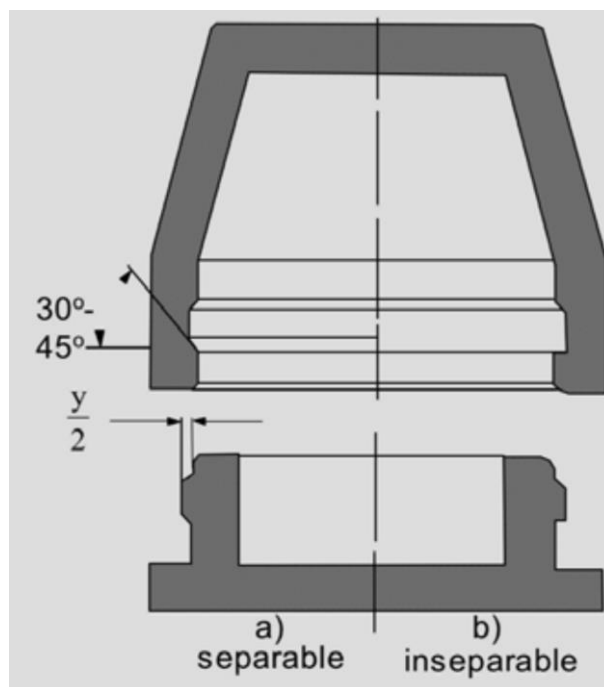
**Figur 2.4: Samband mellan ingångsvinkeln och friktionstalet (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)**

Annular snap joint (ringformat snäppfäste), se Figur 2.5, är en vanlig typ av snap fit som passar bra mellan två rotationssymmetriska delar. (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)



Figur 2.5: Annular snap joint (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)

Ett ringformat snäppfäste kan dimensioneras efter önskad monterings och avmonteringskraft genom att justera ingångsvinkel eller returvinkeln, se Figur 2.6. En icke-separerbart ringformat snäppfäste leder till en mer komplex verktygslösning. Likt för en enkel snap fit finns teori för beräkning av monteringskraften för ett ringformat snäppfäste. Beräkningen av monteringskraften är mer komplicerad men följer samma princip som för det enkla snäppfästet. Det vill säga ett högre friktionstal och större ingångsvinkel leder till högre monteringskraft. (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)



Figur 2.6: Avmonteringsbar och inte avtagningsbar snap fit (Massachusetts Institute of Technology, n.d.)

## 2.2.2 Design for manufacturing (DFM)

*Design for manufacturing* (DFM) är en designfilosofi och metodik där utgångspunkten i en design ska vara att underlätta tillverkningen av produkten i fråga enligt Ulrich & Eppinger (2000) och Boothroyd, Dewhurst, & Knight (2001). Denna metodik brukar ibland kombineras med metodiken *design for assembly* (DFA) då tillverkning och montering är nära sammanhängande processer. Den metodiken kallas då för DFMA, *design for manufacturing and assembly* (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001). I detta kapitel kommer fokus framför allt att ligga på DFM då det har varit den dominerande designmetodik under detta projekt, även om det har förekommit nästan ständigt närvarande inslag av DFA och andra designmetodiker också.

DFM används för framför allt tre aktiviteter:

- Som vägledare och verktyg för designteam genom att förenkla produktstrukturer, minska tillverkningskostnader och kvantifiera förbättringar (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001).
- Som en prestandamätning för att undersöka konkurrenters produkter och kvantifiera tillverkningssvårigheter (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001).
- Som en riktlinje för vad saker borde kosta för att underlätta förhandling med leverantörer (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001).

Det är framför allt den första aktiviteten som har varit relevant i detta projekt, men alla aspekter av kostnadsminskningar vid tillverkning är relevanta för produktutvecklingen då det är direkt kopplat till produktens ekonomiska framgång (Ulrich & Eppinger, 2000).

## 2.3 Tillverkningsteori

### 2.3.1 Formsprutning

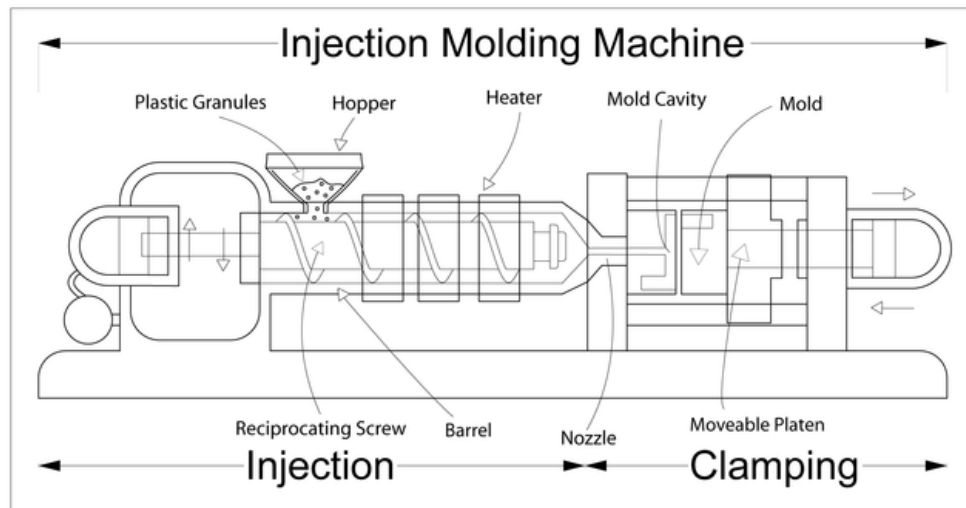
Strömwall och Lundh (2022) beskriver formsprutning som ”en rationell, helautomatisk gjutprocess för tillverkning av plastformgods, vanligtvis av termoplast och termoplastiska elaster”. Det sammanfattar tillverkningsprocessen ganska väl, men formsprutning behöver förklaras mer ingående för att ge en förståelse för vilken inverkan den processen har haft på projektet i sin helhet.

#### 2.3.1.1 Processen

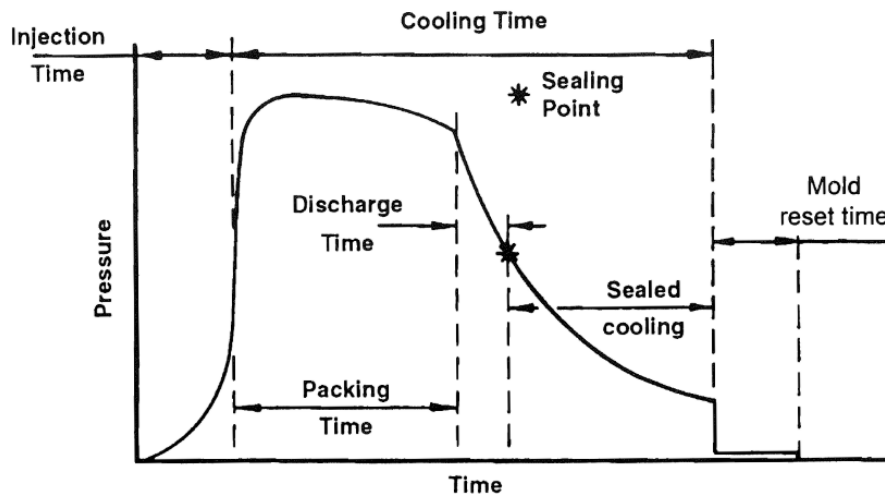
Det första steget i formsprutningsprocessen är att plastmaterial, granulat (plastic granules), matas in i maskinen via en materialtratt (hopper). Granulaten doseras ner i en cylinder (barrel) där en matarskruv (reciprocating screw), med hjälp av



friktionsvärme och högt tryck, plasticerar (smälter) granulaten till en plastsmälta. Denna plastsmälta laddas upp likt ett skott, för att sedan med stort mekaniskt och pneumatiskt tryck sprutas in i en gjutform (mold), se Figur 2.7. Denna gjutform kallas för verktyg och själva formrummet där plasten sprutas in i kallas för kavitet (mold cavity). När plastsmältan är inne i kaviteten packas kaviteten med hjälp av extra tryck, för att säkerställa att plastsmältan har fyllt ut hela kaviteten. Därefter tillåts plastsmältan svalna och härda, för att sedan stötas ut ur verktyget som en färdig plastdetalj (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001). Tiden det tar att smälta, spruta in, packa och kyla plastmaterialet kan variera från tre sekunder till flera minuter. Ett formverktyg kan innehålla allt från en till flera hundra kaviteter (Strömvall & Lundh, 2022). Figur 2.8 visar hur kavitetstrycket förändras under försprutningscykeln.



Figur 2.7: Formsprutmaskinen med dess ingående delar (Rockey, 2009).



Figur 2.8: Tryckförloppet under processcykeln för formsprutning (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001).

### 2.3.1.2 Maskinen och verktyget

Formsprutmaskinen består, förenklat, av två huvudsakliga delar som påverkar resultatet på den formsprutade produkten: maskinen och verktyget.

- Maskinen är den mekaniska konstruktion som smälter, doserar och sprutar in plastsmältan i verktyget. Maskinen bestämmer flera tillverkningsparametrar som behöver beaktas vid utvecklingsprocessen, såsom temperatur på plastsmältan, dosering av plastsmälta, insprutnings- och packtryck, insprutningstid, packning och kylning, för att bara nämna några. Dessa parametrar kan justeras under tillverkningens gång och kan underlätta för att ”trimma in” maskininställningarna för att ge optimala förutsättningar för så goda resultat som möjligt. En maskin kan användas för tillverkning av flera olika sorters plastdetaljer. (Strömvall & Lundh, 2022)
- Verktyget med dess kaviteter är det formgivande utrymme som bestämmer plastdetaljens form. Verktyget i sig kan inte justeras eller ställas om under tillverkningens gång utan kräver omfattande manuellt arbete för att förändras. Ett verktyg används, förutom vid vissa särskilda undantag, endast för tillverkning av en enda sorts plastdetalj och ofta behöver helt nya verktyg beställas och tillverkas vid påbörjad tillverkning av nya eller förändrade plastdetaljer. Vid design av en ny plastprodukt är det därför av stor vikt att ta verktygets begränsningar i hänsyn, då även små avvikelser kan leda till delvis eller helt defekta produkter. (Strömvall & Lundh, 2022)

Ett ingötssystem har som uppgift att leda smältan från insprutningsenheten till kaviteterna. Det finns två olika typer av ingötssystem, kallkanalsystem och varmkanalssystem. Ett kallkanalsystem är placerat direkt i formverktygshalvorna. Smältan i ingötet stelnar vid varje skott och måste därför stötas ut och malas ned för att kunna återanvändas i processen. Ett varmkanalssystem hålls ingötssystemet uppvärmt vilket inte ger något upphov till ingötsrester. (Strömvall & Lundh, 2022)

För att kunna tillverka delar med hål parallella mot delningsplanet används sidoverkande formar. Hålen gör det inte möjligt för delen att stötas ut i axiell riktning från kaviteten. De sidoverkande formarna sätts på backar som kan styras av vinklade pelare som förflyttar backarna åt sidan när verktyget öppnas, vilket gör det möjligt att stöta ut delen. (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2001)

## 2.4 Materialteori

### 2.4.1 Polymera material

Polymerer är kemiska föreningar som är uppbyggda av mindre upprepade enheter som bildar långa kedjor. Termen monomer refererar till de upprepande enheterna som genom polymerisation blir en polymer. En polymer uppbyggd med enbart en sorts polymer kallas homopolymer, däremot om polymeren är uppbyggda av flera sorters polymerer kallas den istället för copolymer. Molekylkedjans vikt och längd påverkar olika materialegenskaper såsom viskositeten. En plast brukar definieras som en polymer + tillsatser. Tillsatser är en möjlighet att modifiera egenskaperna såsom att förbättra egenskaper som uthållighet, styvhet och hållfasthet. (Callister & Rethwisch, 2016; Strömvall & Lundh, 2022)

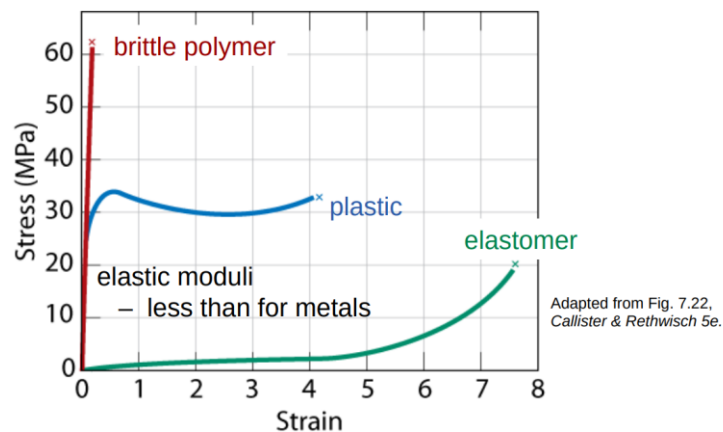
De fysiska egenskaperna påverkas också av strukturen på molekyllkedjorna. Genom polymerisationen går det att kontrollera bildandet av olika typer av utformning på polymeren. I en linjär polymer är de upprepande enheterna sammankopplade i en enda kedja. Poleyten (PE), Polyvinylklorid (PVC) och Polystyren (PS) är exempel på polymerer som bildar linjära strukturer. Ifall polymeren syntetiseras så att förgreningar skapas kallas det för förgrenade polymerer och kedjans möjlighet att packas tätt reduceras på grund av grenarna. Högdensitets Polyeten (HDPE) är en linjär polymer medan Lågdensitets Polyeten (LDPE) har små förgreningar. Det finns också en annan typ av struktur när kedjorna sammanfogas genom kovalenta bindningar under syntesen vilket gör den kemiska reaktionen irreversibel. Denna typ av struktur kallas förnätad polymer. Denna process brukar kallas vulkanisering och gummi elastiska material är oftast förnätad polymerer. (Callister & Rethwisch, 2016)

En typ av klassificering är polymerernas beteenden vid höga temperaturer. De två grupperna är termoplaster och hårdplaster, där en termoplast mjuknar eller smälter

vid uppvärmning och stelnar när den kyls. Detta gör att termoplasten kan återvinnas, teoretiskt sett obegränsat antal gånger. Men vid formningsprocessen sker en viss grad av nedbrytning av egenskaperna, vilket praktiskt sett innebär att materialet endast kan återvinnas ett begränsat antal gånger innan det endast kan energiåtervinnas. En hårdplast däremot har tvärbindingar likt de förnätade polymererna vilket gör att dessa är svåra att lösa upp. En hårdplast kan därmed inte smälta och möjligheten till att återvinna är därmed begränsade jämfört med en termoplast. (Callister & Rethwisch, 2016; Strömvall & Lundh, 2022)

Termoplaster kan bilda så kallade delkristallina områden vilket är områden med specifika mönster efter en ordnad struktur. De delkristallina områdena är tunna lameller som är 10–20 nm tunna. Den höga packningen ger en högre densitet än de omgivande amorfa områdena med en slumpmässig och oorganiserad struktur. De delkristallina termoplasterna har ofta goda mekaniska egenskaper och god kemikaliresistens, däremot innebär det kristallina inslaget att det bryter ljusstrålarna och att plastens genomskinlighet försämras. (Callister & Rethwisch, 2016; Strömvall & Lundh, 2022)

De mekaniska egenskaperna för en polymer kan specificeras med liknande parametrar som för metaller såsom med elasticitetsmodulen, sträckgränsen och brottgränsen. Polymerer är oftast väldigt känsliga mot töjningar, temperaturen och den kemiska omgivningen. Elasticiteten för polymera material kan variera kraftigt, se Figur 2.9, den kan variera för olika polymera material mellan 7 MPa och 4 GPa. När de polymera materialen utsätts för en ökad temperatur blir materialet mjukare och mer duktilt. För polymera material kan spänning-töjning sambandet skilja sig mellan olika material. För ett plastmaterial som PP och HDPE/LDPE (se blåa kurvan i Figur 2.9) finns en initial elastisk deformation som följs av en plastisk deformation. En elastisk deformation är reversibel vilket en plastisk deformation inte är. (Callister & Rethwisch, 2016)

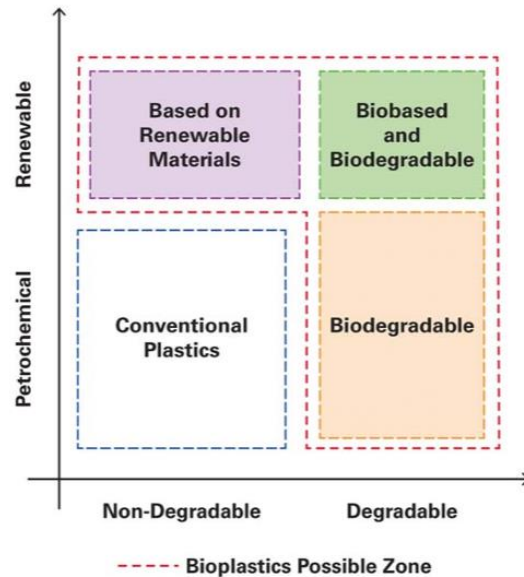


Figur 2.9: Spänning-töjning diagram för olika polymerer (Callister & Rethwisch)

## 2.4.2 Bioplaster

Bioplaster består av stora molekyler med repeterande enheter som till stor del, om inte helt och hållet, kommer från en förnybar råvara. Detta kan till exempel vara majs, sockerrör eller vegetabiliska oljor. Traditionellt är råvaran till plasten från en petrokemisk källa som olja eller naturgas. Även den råvaran har ett ursprung som bio-baserad, genom att en gång i tiden ha varit en växt eller djur och sedan varit lagrad i miljontals år. Trots att båda har samma ursprung skiljer de sig i tidsperspektivet där en förnybar råvara kan ha en livscykel på mindre än 10 år. (Grewell, 2024)

Ett vanligt sätt att illustrera uppdelningen över bioplaster är som i Figur 2.10. Plaster kan vara biobaserade eller fossilbaserade som tidigare nämnt. De kan också vara bionedbrytbara eller icke bionedbrytbara. Bioplaster brukar infatta att en plast är biobaserad eller/och bionedbrytbar. (Bruder, 2013)



Figur 2.10: Illustration bioplasters kategorisering (Grewell, 2024)

## 2.5 Simuleringar

### 2.5.1 Konstruktionsanalys

#### 2.5.1.1 Finita elementmetoden

Den finita elementmetoden, FEM, är ett numeriskt tillvägagångssätt genom vilken allmänna differentialekvationer kan lösas på ett ungefärligt sätt. Det karaktäristiska med finita elementmetoden är att den, istället för att approximera över en hel yta, delar upp den ytan i mindre delar, i så kallade finita element där approximationen sker över varje element. Detta innebär att även fast variabler varierar icke-linjärt över en yta, går det att approximera att variabler varierar linjärt över elementen. Samlingen av de finita elementen kallas för en FE-mesh. (Ottesen & Petersson, 1992)

#### 2.5.1.2 FE-analyser

FE-analyser (FEA) är en viktig teknik inom olika Computer Aided Engineering (CAE) – verktyg. Ett FEA verktyg kan köra numeriska simulationer på olika designkoncept och förutse beteenden för alla typer av situationer. FEA verktyg ger ingenjören möjlighet att förändra och förbättra koncept innan en fysisk prototyp. FEA kan identifiera design misstag och förutse prestanda. (Bi, 2018)

Med hjälp av FEA är det möjligt att lösa ett antal olika sorters problem. Följande är olika ingenjörspenomen som kan lösas med FEA:

- Strukturanalys: under statiska lastfall kan deformationer och spänningar beräknas. Analysen kan antingen vara linjär eller icke-linjär. En linjär modell antar att materialet arbetar i den elastiska zonen medan en icke-linjär modell involverar plastisk deformation där materialegenskaperna varierar efter mängden deformation. (Bi, 2018)
- Modalanalys: för att ta reda på egenfrekvensen kan ”modal analysis” användas. Eftersom strukturer kan gå sönder ifall en omgivande frekvens är nära egenfrekvensen kan det vara av vikt att undvika detta. (Bi, 2018)
- Värmeöverföringsanalys: För att kunna beräkna olika värmeöverföringsproblem som konvektion och konduktion kan ”heat transfer analysis” användas. Likt ”structural analysis” kan den köras på en icke-linjär modell. Analysen kan vara ”steady” eller ”transient”. (Bi, 2018)

#### 2.5.1.3 Kontakter i FE-analyser

Enligt Coulombs friktionshypotes definieras friktionstalet enligt följande (Mägi, Melkersson, & Evertsson, 2020):

$$\frac{F}{N} \leq \mu \quad (2.3)$$

Där följande variabler används:

$F$  = friktionskraften

$N$  = normalkraften räknat över hela kontaktytan

$\mu$  = friktionstalet

Friktionstalet kan delas upp i det statiska friktionstalet och det dynamiska friktionstalet. Det statiska friktionstalet (som uppkommer när de två ytorna är i vila) är högre än det dynamiska (som uppkommer när de två ytorna är i rörelse i förhållande till varandra). Friktionstalet påverkas av bland annat materialet och dess ytsträvhet. Generellt har delkristallina polymerer lägre friktionstal än amorfa polymerer. (Mägi, Melkersson, & Evertsson, 2020; Strömvall & Lundh, 2022)

Cho, Bhushan och Dyess presenterar i en artikel i *Tribology International* deras resultat från en undersökning om mekanismen för statisk och dynamisk friktion för olika plaster. Genom att strukturellt testa olika parametrar som kan påverka mekanismen bakom friktionen kan Cho, Bhushan och Dyess bland annat bestämma friktionskoefficienterna i kontakten mellan olika plaster. De bestämmer bland annat det statiska och dynamiska friktionstalet mellan PP och HDPE till  $0,22 \pm 0,05$  och  $0,12 \pm 0,05$ . I jämförelse är motsvarande värden på det statiska och dynamiska friktionstalet mellan PP och PP  $0,47 \pm 0,05$  och  $0,45 \pm 0,04$ . (Cho, Bhushan, & Dyess, 2016)

Till skillnad från i den fysiska världen kan fysiska delar genomtränga varandra i vissa numeriska simulationer. I Ansys Mechanical (FE-solver) finns flera olika kontaktformuleringar, Pure Penalty och Augmented Lagrange är två straffbaserade. En straffbaserad kontaktformulering är en matematisk metod där kontakt påtvingas utan att begränsa den. När två delar genomtränger varandra kommer det att uppkomma en återställande kraft som är proportionell mot storleken på genomträngningen. Formeln för den återställande kraften för en straffbaserad kontaktformulering är enligt följande och kan jämföras med en fjäder (Learninng, 2020):

$$F = k_n * x_p \quad (2.4)$$

Där följande variabler används:

$F$  = återställande kraften

$k_n$  = kontaktelement-styvheten

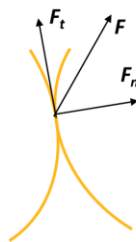
$x_p$  = genomträngningen

För att undvika genomträngning hade kontaktelementens styvhet behövt vara oändligt stor vilket är numeriskt omöjligt. Därför behöver genomträngningen undersökas noggrant och jämföras med geometrin och den lokala deformationen. (Learning, 2020)

Det finns även olika typer av kontakter i Ansys Mechanical några av dessa är (Ansys, 2020):

- Bunden kontakt (bonded)
- Friktionsfri kontakt (frictionless)
- Friktionskontakt (frictional)

En bunden kontakt innebär att ytorna är i kontakt och inte kan separeras. Normalkrafterna och de tangentiella krafterna, se Figur 2.11, är höga vilket innebär att det förhindrar all relativ rörelse mellan ytorna. För den friktionsfria kontakten kan ytorna separera från varandra samt glida över varandra utan något motstånd,  $F_t = 0$  för denna kontakt. För friktionskontakten följer den likt i Ekvation 2.3 där den tangentiella kraften är en funktion av normalkraften. (Ansys, 2020)



Figur 2.11: Kontaktkrafterna (Ansys, 2020)

## 2.5.2 Formfyllnadsanalys

### 2.5.2.1 Vad är formfyllnadsanalys?

Formfyllnadsanalys, i denna rapport, är appliceringen av flera olika sorters analysverktyg för att simulera på formfyllnadsförloppet av en detalj. Dessa analyser kan innefatta alla möjliga sorters material och processer, men härnäst i denna rapport när det talas om formfyllnadsanalys syftas det på just specifikt formsprutningsprocessen.

### 2.5.2.2 Hur fungerar det?

Mjukvaran analyserar formfyllnadsförloppet genom kombinationen av flertalet matematiska principer och fysikaliska koncept, så som till exempel:



- Fluidmekanik, för att modellera flödet av smält plast inom kaviteten i formfyllnadsverktyget.
- Värmeöverföring, för att simulera det termiska beteendet hos plastsmältan när den sprutas in i verktyget och under kylprocessen. Detta innefattar värmeledning, konvektion och värmestrålning.
- Termodynamiska principer, som styr beteendet hos material som genomgår fasövergångar, såsom från flytande till fast under kylning.
- Principer inom hållfasthetslära, som nyttjas för att modellera deformationen och spänningsfördelningen inom plastmaterialet när det genomgår kylning och stelning.
- FEA, som beskrevs i kapitel 2.5.1.2, används för att diskretisera geometrin i små element och lösa de styrande ekvationerna numeriskt. FEA är en förutsättning för dessa sorters analyser, då det delar upp stora problem i mindre, mer lätthanterliga delproblem.
- Materialegenskaper: Mjukvaran kräver noggranna data för materialegenskaper för att simulera beteendet hos specifika plastmaterial under injektionsgjutningsprocessen. Dessa egenskaper inkluderar viskositet, termisk ledningsförmåga, termisk expansionskoefficient, densitet med flera.

Därtill behöver även processbegränsningar och gränsvillkor beaktas, då detta har stor på tidigare nämnda koncept.

## 3 Metod

### 3.1 Tidsplanering

Projektet i fråga initierades med skapandet av en tidplan i syftet att få en överskådlig blick på vilka moment och faser som projektet skulle kunna tänkas innefatta. Därtill agerade den även tidshorisont, så både examensarbetare och intressenter kunde skapa sig en uppfattning om lämpliga förväntningar på tidsåtgång.

För att skapa tidplanen ställdes ett Gantt-schema upp, indelat i tre faser med tillhörande respektive delmoment. Dessa faser och delmoment var uppställda på ett sätt som någorlunda återspeglade den utvecklingsprocess som Nolato Meditech själva arbetar efter, tillsammans med delmoment av mer akademiska och administrativa inslag. Den totala tidsåtgången för projektet uppskattades till ungefär 21 veckors arbete, inklusive helger och helgdagar. För Gantt-schemat, se bilaga A.2.

### 3.2 Koncept-och designframtagning

Som grund för att ta reda på kundkraven gjordes en informationsinsamling genom intervjuer. Valet av metod grundades på att det gav kvalitativa svar där motfrågor kunde ställas och därmed kunde svaren bli mer utförliga och bli bättre tolkade. En annan metod hade varit att skicka ut enkäter för att nå ut till en större grupp. Nackdelarna som gjorde att den metoden inte valdes var att det hade varit svårt att få detaljerade svar samt att det hade tagit längre tid att vänta in svar och sedan analysera dem. Dessutom passade frågorna som ställdes bättre i ett intervjuformat. Intressenternas krav var tydligt definierade från början i projektet.

Vidare följde koncept och designframtagning baserad på Ulrich och Eppingers metod beskriven i kapitel 2.1.1, fram tills utvecklingen av det valda konceptet. För utvecklingen av det valda skedde detta genom virtuell och iterativ produktutveckling. I den fasen kombinerades olika datorbaserade ingenjörsvärktyg lämpliga för design i plastmaterial.

## 3.3 Datorbaserad analys

### 3.3.1 Konstruktionsanalys

För att kunna validera konstruktioner genom att undersöka hur kundkrav uppnåddes användes FE-analyser. Kundkraven översattes först till en målspecifikation som ger ett mätbart värde för att kunna valideras. För att kunna veta om konstruktionen uppnår målspecifikationen måste simulationer utformas som träffsäkert efterspeglar den verkliga påfrestningen som produkten kan genomgå under användning. Därför måste alla randvillkor vara noga genomtänkta för att undvika resultat som inte är representativa.

#### 3.3.1.1 Val av metod för FE-analyser

Arbetsättet som simuleringarna gjordes efter, baserades på den typ av simulation som skulle genomföras samt den tillgängliga datorkapaciteten. Simulationerna genomfördes mestadels på en Matebook X Pro i7 16 GB RAM med en begränsad förmåga att genomföra stora beräkningar på kort tid. Detta gjorde att beräkningstiden blev lång och att möjliga alternativa arbetssätt i FE-analysarbetet inte kunde bli applicerade. På grund av den begränsade datorkapaciteten och den långa beräkningstiden, skedde alla design förändringar manuellt utan hjälp av en DoE. Under simuleringarna övervakades resultaten för att ha möjligheten att kunna avbryta simuleringarna och spara tid.

En viktig del i att uppnå stabila och bra resultat var att hitta bra simuleringsinställningar. Målet med dessa simuleringsinställningar var att uppnå en så lik bild av verkligheten som möjligt samtidigt som det inte uppstod konvergeringsproblem och blev en för lång beräkningstid.

##### 3.3.1.1.1 Symmetrivillkor

För att minska antalet element och minska beräkningstiden användes befintlig symmetri på vinkorken för att dela modellen.

##### 3.3.1.1.2 Kontaktinställningar

I alla simulationer var det någon typ av friktionskontakt. För att vara mest likt det verkliga fallet, användes den statiska friktionskoefficienten när de två delarna började kontakten från vila, till exempel i avmonteringsrörelsen. Den kinetiska friktionskoefficienten användes när två delar var i rörelse relativt varandra när kontakten påbörjades. I det verkliga fallet beror det dock på hur användaren genomför monteringen och avmonteringen för huruvida det är den statiska eller kinetiska friktionskoefficienten som ska övervinnas. Till exempel ifall användaren pausar monteringen halvvägs igenom kommer den statiska friktionskoefficienten behöva övervinnas, vilket betyder att i simulationerna används ett ”idealt” tillstånd. Friktionstalen som beskrivits under kapitel 2.5.1.3 validerades genom enkla

dragtester av de beskrivna materialen som gav liknande resultat som Cho, Bhushan och Dyess presenterade i artikeln (Cho, Bhushan, & Dyess, 2016). Eftersom det fanns begränsade data om friktionstalet mellan plaster och glas användes de egna dragtesterna för bestämmandet av friktionskoefficienten mellan kroppen och flaskan.

En viktig inställning var kontaktstyvheten, vilket påverkade hur mycket de två delarna genomträngde varandra, se kapitel 2.5.1.3. För att hitta den korrekta styvheten gjordes många simulationer för att hitta den optimala balansen mellan en simulation som kan konvergera enkelt medan styvheten är tillräckligt hög för att båda delarna ska behålla sin ytkaraktär. Kontaktformulationen valdes till Augmented Lagrange som ger en bra kombination mellan penetration, datortid och tillförlitlighet.

#### 3.3.1.1.3 Meshinställningar

Målet med meshinställningarna var att uppnå en bra mesh-kvalitet samtidigt som beräkningstiden inte blir för lång. Det finns ett tak på 128 000 noder/element i studentlicensen. Beroende på vilken typ av simulering det var som gjordes behövdes olika mesher.

#### 3.3.1.1.4 Materialinställningar

Materialmodellen som användes för plastmaterialet var en enkel linjär metod där elasticitetsmodulen, poissons konstant och sträckgränsen definieras.

#### 3.3.1.2 Intressanta resultatparametrar

Med tanke på den begränsade materialdata som fanns att tillgå och att det inte fanns resurser eller planer på att göra detaljerade fysiska tester på aktuella material togs beslutet att dimensionera efter töjningen. Som tidigare nämnts användes en linjär materialmodell. Efter att materialdata från de valda materialen hade implementerats in som materialdata i FEM-programmet uppmärksammades att det var en signifikant skillnad mellan hur materialet betedde sig i FEM-programmet jämfört med hur det borde ha gjort enligt materialdatabladet från tillverkaren av de tilltänkta materialen. Till exempel var töjningen ungefär en fjärdedel av värdet nämnt i databladet när spänningen var vid sträckgränsen. Tolkningen som gjordes var att elasticitetsmodulen endast var giltig vid små töjningar och att styvheten egentligen minskar vid större töjning. Med tanke på detta var det inte möjligt att dimensionera efter spänningarna då dessa i de flesta fall hade varit högre i simulationerna än i verkligheten. Spänningen hade varit över sträckgränsen vilket hade blivit fel att presentera som resultat. Därför dimensionerades vinkorken efter töjningen och för att ta hänsyn till den för höga elasticitetsmodulen sattes en säkerhetsmarginal på 2. Även reaktionskrafterna påverkades av en ”felaktig” materialmodell, men efter att ha gjort alternativa simuleringar med andra icke-linjära materialmodeller var erfarenheten att reaktionskrafterna inte påverkades i en hög grad.

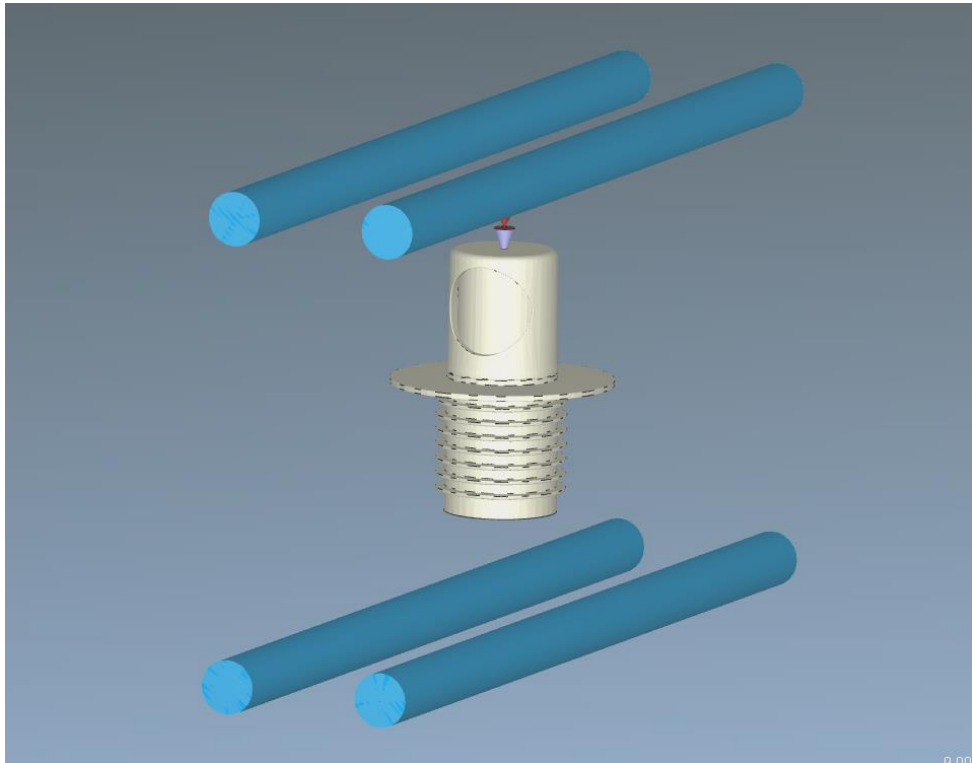
### 3.3.2 Formfyllnadsanalys

För att kunna simulera hur tillverkningsprocessen av produktkomponenterna skulle ske behövdes ett program som kunde visa, räkna på och analysera processen av att formspruta plastdetaljer. För det syftet användes programmet Moldex 3D, som kan simulera och efterlikna nästintill alla delar av formsprutningsprocessen.

#### 3.3.2.1 Programanvändning

För att köra en formfyllnadssimulering i Moldex 3D krävs, liksom många andra FEM-baserade simuleringsprogram, förinställningar där vad som ska simuleras, hur simuleringen ska utföras och relevanta gränsvillkor anges. För detta projekt såg processen ut som följande:

Inledningsvis laddades en CAD-modell för någon av komponenterna upp till programmet. Därefter tilldelades modellen ett attribut, i detta fall attributet ”part”, så att programmet vet vad modellen motsvarar och hur den ska behandlas. Efter det placeras ingötet (gate) ut och ett delningsplan definieras, varpå kylkanaler skapas och placeras ut längs med detaljen. En mesh genererades för modellen som sedan kontrolleras och aktualiseras automatiskt av programmet. Därefter bestämdes material, tillverknings- och processinställningar och typen av analys som skulle genomföras. Även kylkanaler kunde designas men för just denna typ av detalj valdes en enkel utformning på kylkanalerna, se Figur 3.1. När alla dessa steg var genomförda var programmets förinställningar klara och filerna kunde laddas upp till en beräkningsdator för simulering. När beräkningsdatoren hade simulerat klart kunde filerna laddas ned och resultatet kunde studeras.



**Figur 3.1: Modellen redo för formfyllnadsanalys**

### 3.3.2.2 Programinställningar

För att genomförligt redovisa alla aspekter av formfyllnadssimuleringarna kommer även alla relevanta programinställningar att presenteras. Dessa inställningar valdes på rekommendation av TDC för att bäst representera Nolatos egen produktion, samt grundinställningar som Moldex baserar på materialvalet. Programinställningarna redovisas i kapitel 6.2.2. Det ska noteras att det material som har använts för simuleringarna i Moldex 3D inte är det exakta material som avses användas för riktig produktion senare och som har diskuterats i tidigare kapitel. Däremot har materialet som använts i Moldex identiska mekaniska och termodynamiska egenskaper som det faktiska materialet, så simuleringresultatet har inte påverkats något av denna diskrepans.

### 3.3.2.3 Resultat av intresse

För att kunna tolka resultaten från formfyllnadssimuleringarna var det av största vikt att veta vilka resultat som gav relevant och givande data samt vilka som inte gjorde det. Efter rådgivning från TDC valdes följande resultat ut för granskning och tolkning.

#### 3.3.2.3.1 Melt Front Time

Här visas plastsmältans färd genom kaviteten. Det ger insyn i vilka delar av detaljen som eventuellt fylls och inte fylls ut, hur och var smältans fronter möts och om smältan flyter ut symmetriskt i kaviteten.

#### 3.3.2.3.2 Air Trap

Detta resultat visar var små luftbubblor ansamlas till följd av att plastsmältan trycker undan luften när den strömmar ut i kaviteten. Det kan hjälpa att förutspå var defekter riskerar att uppstå och var lämpliga placeringar av luftkanaler kan finnas.

#### 3.3.2.3.3 Weld Line och Weld Line Meeting Angle

Denna vidareutveckling av Melt Front Time visar mer exakt var plastsmältan flödar samman i kaviteten och vilken vinkel smältorna flödar samman med. Detta har stor betydelse för detaljens hållfasthet, då sammanflödeslinjen och dess vinkel utgör en lokal svaghet i konstruktionen.

#### 3.3.2.3.4 Molten Core

Molten Core visar var, vid en angiven tid, plastsmältan i kaviteten har stelnat och var den är fortsatt flytande. Det är intressant att veta då det indikerar på eventuella flaskhalsar när det kommer till packning av detaljen och det kan även ge en indikation på hur detaljen kommer att deformeras under kylning.

#### 3.3.2.3.5 Clamping Force Centroid

I detta resultat presenteras den kraft som maskinen behöver låsa formfyllnadsverktyget med för att genomföra formsprutningen. Det ger framför allt värdefull information inför maskininställning, men kraften är också väldigt talande om resultatvärden är rimliga.

#### 3.3.2.3.6 Volumetric/linear Shrinkage

Dessa procentuella värden visar hur mycket detaljen förväntas att krympa under kylning för detaljens olika områden. Detta har mycket stor betydelse för korrigerande åtgärder, som till exempel förstoring av detaljen så den mer liknar den är nominella designen efter krympning. Krympningen har också stor påverkan på eventuella toleranser för detaljens kritiska mått.

#### 3.3.2.3.7 Total Displacement

Likt Volumetric Shrinkage visar detta resultat hur detaljen förväntas deformeras under kylning, men här med sträckor istället för ett procentuellt värde. Används jämte Volumetric Shrinkage för att hjälpa med kompenserande åtgärder och synliggöra eventuella passningsproblem vid montering.

### 3.3.3 Mått-och toleransanalys

Det sista steget i den datorbaserade analysen var att koppla samman konstruktionsanalyserna och formfyllnadssimuleringarna genom att ta fram processinställningar för tillverkningen av delarna. Först bestämdes fem kritiska mått på varje del som senare skulle analyseras i ett mätprogram. De kritiska måtten var mått som hade stor betydelse på vinkorkens funktioner. Måtten behövde också vara mätbara i mätprogrammet vilket också påverkade valet. Nästa steg var att bestämma lämpliga toleranser på delarna. Dessa toleranser bestämdes baserat på tidigare FE-analyser där alternativa mått och resultat hade dokumenterats.

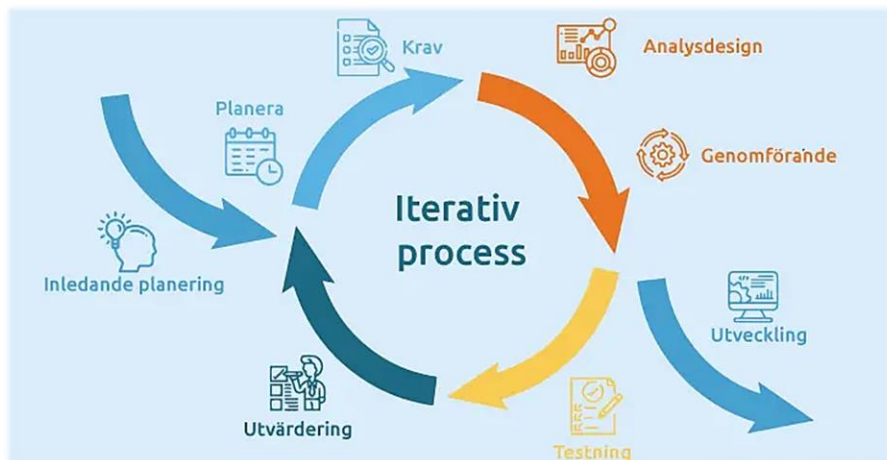
Utifrån den nominella modellen modifierades specifika dimensioner för att ge mått i övre eller undre gränsmått för de fem kritiska måtten. Två olika modifieringar skapades på varje del, en med högsta montering/avmonteringskrafter och en med lägsta montering/avmonteringskrafter. Genom att köra samma typer av simulationer som för det nominella fallet och jämföra resultaten med målspecifikationen gjordes bedömningen om toleranserna var godkända eller behövde förändras. Trots att metoden för bestämningen av toleranserna endast gav resultaten för de absoluta extremfallen, som är osannolika att inträffa, var detta en metod som kunde genomföras inom tidsplanen och med värdefulla resultat.

En DoE kördes i formfyllnadsprogrammet där fyra processinställningar varierade för att skapa ett processfönster. Den största och minsta modellen fördes sedan över i ett mätprogram i mjukvaran GOM Inspect där modellerna analyserades och mättes, med hjälp av TDC:s expert på mjukvaran. Genom att mäta modellen gick det att upptäcka deformationer och se ifall de kritiska måtten var inom toleranserna. Mätanalysen genomfördes endast på "kroppen" för att kunna ha tid att kunna slutföra projekten efter tidsplanen.

## 3.4 Iterativ produktutveckling

Ett vanligt förekommande beteende vid arbete med kreativa processer är att ständigt gå tillbaka och återbesöka tidigare arbete och resultat för att ta inspiration eller ändra och anpassa efter de skiftande omständigheterna. Det kallas för att jobba iterativt (arbetet görs i iterationer) och produktutvecklingsprocessen är inget undantag.





**Figur 3.2: Den iterativa processen illustrerad (Kristensen, 2022)**

I Figur 3.2 illustreras en generell iterativ process för utveckling. Detta projekt har följt en liknande metodik. Inledningsvis gjordes en planering av aktuell iteration, där målet har varit att skapa eller anpassa en design för att uppnå särskilda krav. Därefter skapades designen för att sedan testas i ett eller flera analysprogram. Efter genomförd analys utvärderades resultaten för att se om de överensstämde med kraven ställda eller om de avvek från önskat resultat. Sen påbörjades planering inför nästa iteration och på det sättet fortlöpte processen om och om igen. Exakt vilka krav, designförändringar och analyser som syftas på har varierat beroende på aktuell iteration. Till exempel kan en iteration ha tillbringats för att endast förbättra en liten del på en av komponenterna för att förbättra formfyllnadssimuleringen, medan en annan iteration kan ha agerat för att förbättra alla aspekter av designen och trimma in sig mot ett slutgiltigt resultat.

## 4 Koncept- och designarbete

### 4.1 Fastställande av intressenterna och kundens krav

För att få en bättre förståelse för kundkraven på vinkorken, gjordes en empirisk undersökning där underlaget baserades på intervjuer samt egna erfarenheter. Utöver kundkraven fanns även krav från intressenterna, vilket i detta fall är Nolato MediTech.

#### 4.1.1 Kundkrav

Kundpåståendena som inkom under intervjuerna gjordes om till kundkrav. Till exempel omvandlades kundpåståendet ”ser inte billig ut” till kundkravet ”designutseendet signalerar bra kvalitet”. Detta underlättar utformningen av målspecifikationen senare i processen. Se alla kundkraven i bilaga B.1. De nya kundkraven rankas i betydelse från 1 till 5, se bilaga B.2. Denna ranking sätter också grunden till hur olika avvägningar ska göras senare under designfasen.

#### 4.1.2 Intressenternas krav

Likt kundernas krav rankades också intressenternas krav. Men tillskillnad från kundernas krav var intressenternas krav mer specificerade och behövde därför inte skrivas om från ett påstående till ett krav. Intressenterna i detta fall var Nolato MediTech. För dem var det ett måste att produkten tillverkas i plast och därför angavs kravet med ett utropstecken, se Bilaga B.

#### 4.1.3 Målspecifikation

Kundkraven och intressenternas krav behövde skrivas om till en målspecifikation där de subjektiva kundkraven gjordes om till objektiva krav. Flera krav påverkade samma specifikation, vilket i sin tur påverkade specifikationens betydelse. Specifikationen låg också till grund för hur simulationsarbetet till exempel FE analyserna och formfyllnadssimuleringarna planerades och genomfördes. Specifikationerna behövde i så stor utsträckning som möjligt kunna valideras för att

kunna avgöra ifall produkten är tillräckligt bra utifrån kundkraven och intressenternas krav, därmed har de flesta specifikationerna ett tillvägagångssätt för mätning av att avgöra om specifikationen uppfyllts eller inte. Ett exempel på hur delar av målspecifikationen såg ut visas i Tabell 4.1. Se fullständig målspecifikation i bilaga B.3.

**Tabell 4.1: Exempel på målspecifikation**

<i>Spec nr.</i>	<i>Krav nr.</i>	<i>Specifikation</i>	<i>Vikt</i>	<i>Enhet</i>	<i>Ideal värde</i>	<i>Max värde</i>	<i>Min värde</i>	<i>Tillvägagångsätt mätning</i>
1	1	Vattenflöde	3	cl/s	3	5	2	Fysiska tester
9	6	Kraft för ihopmonteringen	5	N	10	25	5	FEM
11	7	Kraft för montering av vinkork i flaska	5	N	40	60	15	FEM

## 4.2 Konceptgenerering

För att undvika att råka utveckla en redan existerande vinkork, samt för att sätta en egen tvist på produkten, hölls en brainstorming session där konceptet ”vinkork” drogs till sin yttersta spets. Denna session resulterade i flera olika idéer för såväl utformning som mekaniska lösningar för vinkorkens funktion. För att bättre kommunicera tanken med de olika koncepten, samt synliggöra vissa eventuella svårigheter med de tänkta konstruktionerna, skapades enklare 3D-modeller för varje koncept. Dessa koncept presenteras nedan.

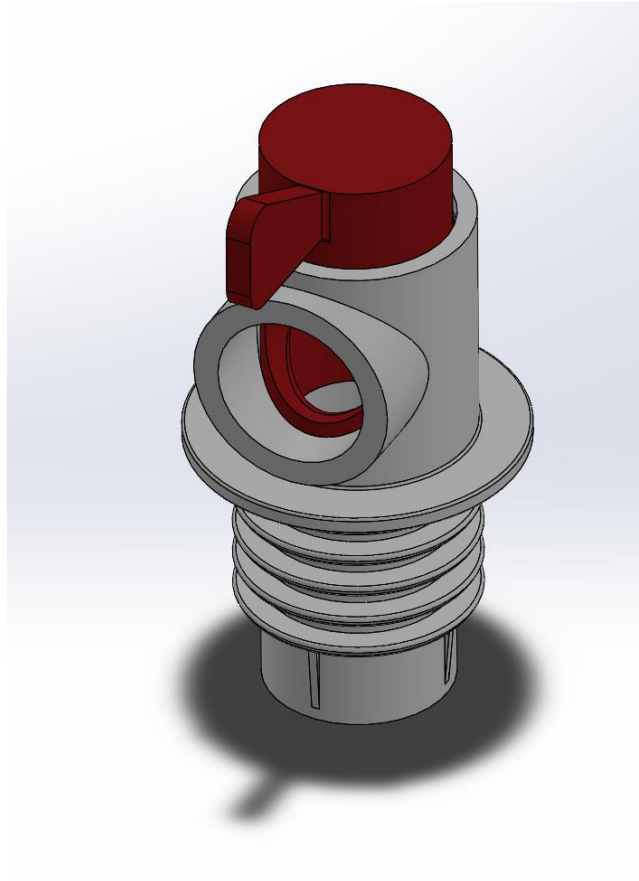
#### 4.2.1 Tappen



**Figur 4.1: Konceptet "Tappen" modellerad**

Konceptet "Tappen", se Figur 4.1, fick sin inspiration ifrån en av produkterna Nolato MediTech tillverkar. Produkten i fråga är en sorts ventil för att kontrollera flödet i en liten slang, så även den tänkta funktionen var snarlik. Hålet högst upp var tänkt som "mun" för vinkorken, det vill säga det hål som vinet kommer flöda ut ur. Nackdelen med detta koncept var den mycket lilla munnen, vilket hade begränsat vätskeflödet kraftigt.

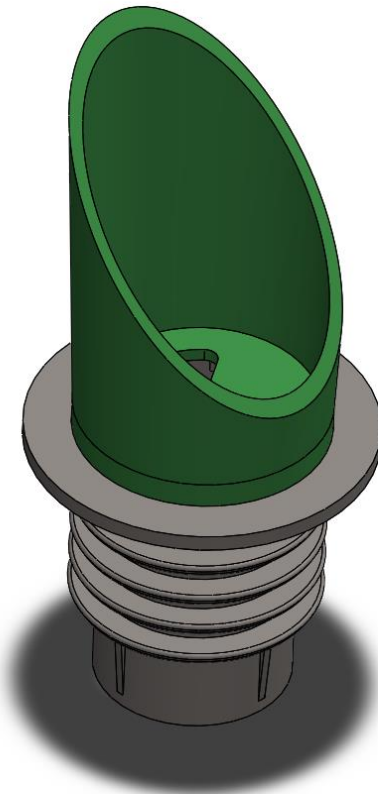
#### 4.2.2 Kranen



**Figur 4.2: Konceptet "Kranen" modellerad**

Konceptet "Kranen", se Figur 4.2, är det koncept som sedan togs vidare för utveckling. Detta koncept liknar de ventiler/kranar som går att finna på vattendunkar, där flödet kontrolleras genom att vrida på ventilen för att göra vätskekanalen antingen större, mindre, eller helt avstängd. Fördelen med detta koncept var det intuitiva användandet och att respektive komponent var relativt rotationssymmetrisk.

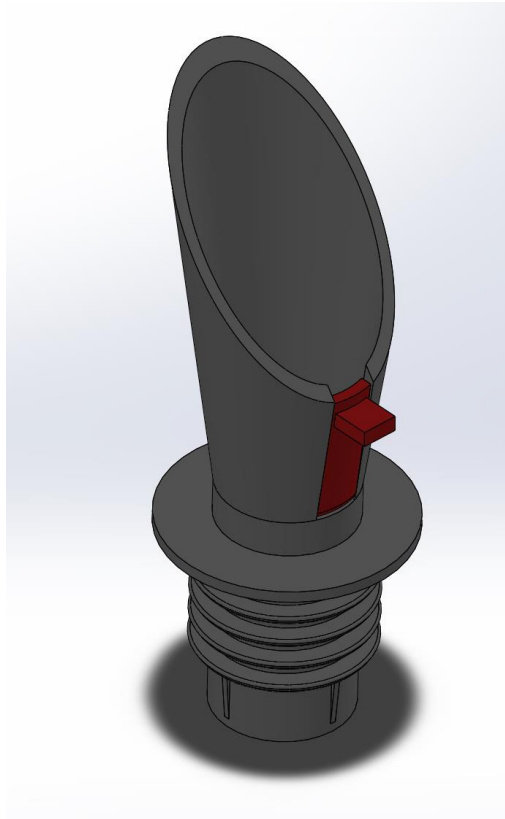
### 4.2.3 Kryddan



**Figur 4.3: Konceptet "Kryddan" modellerad**

"Kryddan", se Figur 4.3, fick konceptnamnet, inte helt otippat, för att vinkorken såg ut som locket på en kryddbuk. Tanken var att, likt de två tidigare koncepten, styra flödet genom en roterande rörelse. Men till skillnad från de tidigare koncepten tjänade detta reglage en ytterligare funktion, nämligen som "läpp" eller "tunga" så att vinet kunde hållas med större precision. Nackdelen med detta koncept var den mycket begränsade storleken på munnen, som hade lett till ett dåligt och ojämnt vätskeflöde.

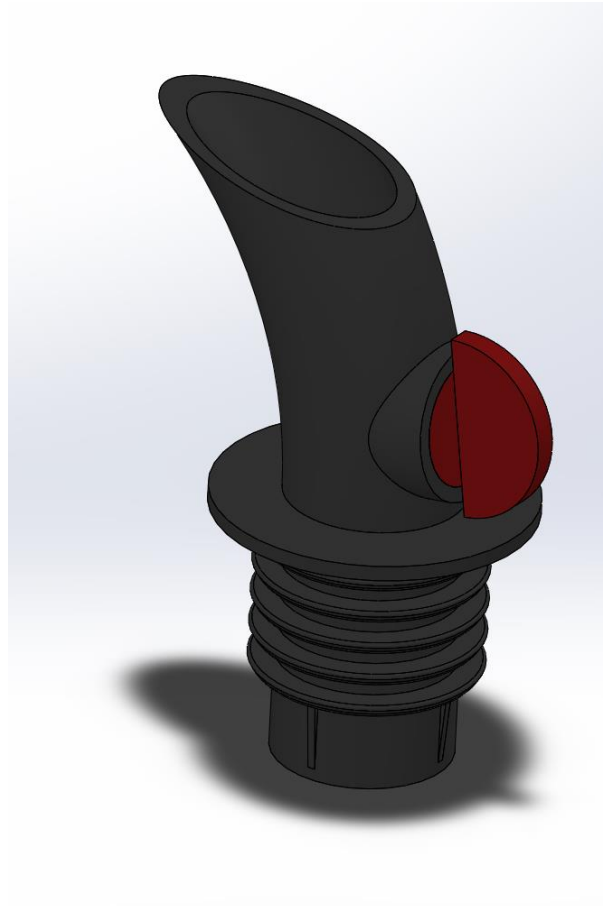
#### 4.2.4 Knäppen



**Figur 4.4: Konceptet "Knäppen" modellerad**

Detta koncept skiljde sig från tidigare koncept genom att inte längre använda en rotationsrörelse för att reglera flödet, utan istället en snap-fit liknande "knäppare" för att försegla och öppna vätskekanalen, se Figur 4.4. Denna knäppare (röda komponenten i figuren) skulle rotera vid dess undre kant och kunna styras med endast tummen. Däremot uppstod det problem vid diskussion av exakt hur knäpparen skulle fästas vid huvudkomponenten, samt hur huvudkomponenten skulle kunna tillverkas på grund av dess mer geometriskt komplexa utformning.

#### 4.2.5 Bågen



**Figur 4.5: Konceptet "Bågen" modellerad**

Konceptet "Bågen", se Figur 4.5, uppstod som en kombination av konceptet Tappen och Kranen. Precis som de båda koncepten hade vätskeflödet i Bågen reglerats av en roterande rörelse på en ventil (röd komponent i figuren), men här med fördelen att upphållningsvinkeln, det vill säga den vinkel som hållits i vinflaskan vid upphållning, hade varit lite mer ergonomisk. Därtill hade detta koncept ett mer estetiskt tilltalande utseende. Men precis som med Knäppen så var utmaningen här att hitta något sätt att kunna tillverka en relativt komplex geometrisk utformning. Även ventilkomponenten ansågs vara svår att designa och tillverka på ett sådant sätt att funktion skulle vara garanterad vid användning.



## 4.3 Konceptval

### 4.3.1.1 Validering vattenflöde

Från början var tanken att med hjälp av Computational Fluid Dynamics (CFD) avgöra ifall ett vattenflöde var bra eller dåligt. Tyvärr var det svårt att praktiskt genomföra detta inom den angivna tidsramen då det är ett relativt komplext problem. Framför allt är det svårt att simulera hur luftbubblorna färdas tillbaka upp i flaskan i takt med att flaskan töms. Med tanke på detta ändrades den ursprungliga planen och i ett litet steg lämnades den virtuella produktutvecklingen när 3D printade prototyper användes och på dessa gjordes vattenflödestester. Under dessa tester framkom det att det är inte helt lätt att få luften att flöda i den motsatta riktningen då vatten och luften behöver blandas. Detta var ett problem för koncepten med liten öppning.

Vattenflödestesten, se Figur 4.6, kunde utesluta vissa koncept. Till viss del blev testerna subjektiva vilket egentligen inte var önskvärt men samtidigt var det de bästa sätten att testa vattenflödena på. Dessutom var det en enkel metod som inte krävde så mycket ansträngning, tidsåtgång eller resurser. Något som bör beaktas är att alla produkter inte kräver CFD-simuleringar och att om det varit en annan produkt kanske det hade varit möjligt att fortsatt hålla produktutvecklingen helt virtuell.



**Figur 4.6:** Vattenflödestest till konceptvalet

#### 4.3.1.2 Concept scoring

Tabell 4.2: Concept scoring summering

<i>Koncept</i>	<i>Tappen</i>	<i>Kranen</i>	<i>Kryddan</i>	<i>Knäppen</i>	<i>Bågen</i>
<i>Total poäng</i>	3,65	4,15	3,15	2,95	3,1
<i>Rank</i>	2	1	3	5	4

Tabell 4.2 visar en summering över resultaten från concept scoring, där kranen blev det valda konceptet som skulle vidareutvecklas. Fullständig concept scoring visas i bilaga B.5. Kriterierna bestod till största delen av kundkraven men kriterierna baserades också på vad som skulle vara en lämplig produkt att utveckla som ett examensarbete.

## 4.4 Designgenerering

Efter att ”kranen” valdes som koncept, fortsatte utvecklingen av konceptet. I utvecklingsfasen var störst fokus på att förbättra konceptets svagheter. Saker som kunde förbättras var bland annat vattenflödet och utseendet. Vattenflödet förbättrades genom att expandera diametern på insidan av vinkorken. För att uppnå en större möjlighet att förändra utseendet på vinkorken, flyttades den röda ”ventilen” i Figur 4.2 till utsidan av den gråa ”kroppen”.

## 4.5 Designval

Vinkorken som framtagits i utvecklingsprocessen skulle uppfylla kundkraven och intressenternas krav, därför behövdes flera olika funktioner som fungerar väl för användaren. Det fanns en naturlig avvägning mellan funktion, tillverkningsbarhet och strukturell integritet. På grund av det, behövde konceptet och konstruktionen förändras för att uppnå ett resultat som hade en bra avvägning mellan alla relevanta aspekter.

### 4.5.1 Design



**Figur 4.7: Vinkorken**

Vinkorken i Figur 4.7 består av två delar, en del som kallas ”kropp” det är den delen som sitter monterad i flaskan samt en annan del som kallas ”ventil” och fungerar som förslutare av vätskeflödet ut ur flaskan. Vinkorken har för varje design-iteration ändrat utseende och konfiguration för att hitta en bra balans mellan funktion och tillverkningsbarhet.

#### 4.5.2 Brandpost



**Figur 4.8:** Amerikansk brandpost som inspiration till designen av vinkorken (källa bild till vänster: (Schumin))

Den visuella designen på vinkorken ska likna en amerikansk brandpost, se Figur 4.8. Anledningen till att vinkorken skall visualisera en brandpost är för att göra vinkorken roligare och intresseväckande, vilket är ett önskemål från intressenterna. Eftersom produkten är en demonstrationsprodukt, gör det att brandposten har ett visst igenkännande och ökar intresset för produkten. Att valet föll på just en brandpost beror på dess starka karaktäristiska utseende och att en brandposts utseende liknar den konceptdesign som fanns på vinkorken. Brandpostens naturliga röda färg tillsammans med den gråa färgen från en gatsten eller asfalt, matchar bra med färgkombinationen på Nolatos logotyp som är röd och grå.

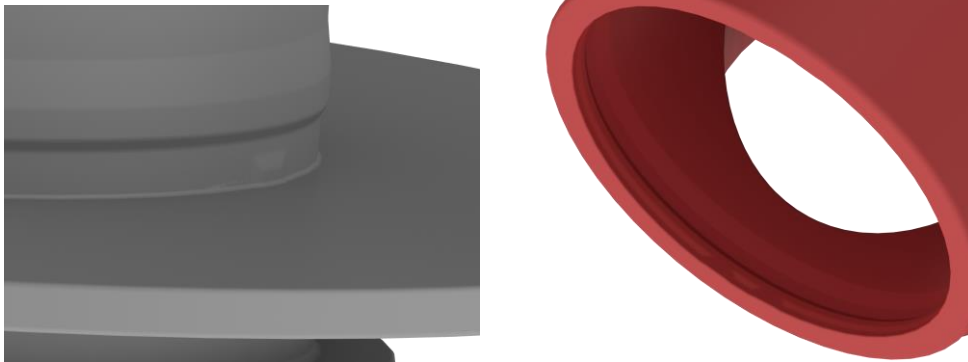
### 4.5.3 Monteringsmekanism



**Figur 4.9: Monteringsmekanism**

En av de viktigaste detaljerna i designen av vinkorken är valet av monteringsmekanism. Valet av typ av mekanism föll på ett ringformat snäppfäste, se Figur 4.9, vilket berodde på ett flertal anledningar. Den främsta anledningen var att den cylindriska geometrin i området för där delarna ska monteras, passar väldigt bra för ett ringformat snäppfäste. Det är också en väldigt stark koppling som kan kräva en hög monterings/avmonteringskraft beroende på den geometriska utformningen. För att uppnå en vinkork som inte kräver en stor kraft att montera är ingångsvinkeln låg vilket var ett av kundkraven. För att uppnå kundkraven behöver däremot avmonteringskraften vara hög och därför är returvinkeln större. På grund av rotationssymmetrin som ett ringformat snäppfäste skapar, gör detta att krafterna fördelas utöver hela snäppet, vilket inte ger höga spänningskoncentrationer i specifika områden utan en jämnare fördelning av spänningskoncentrationerna på en större yta.

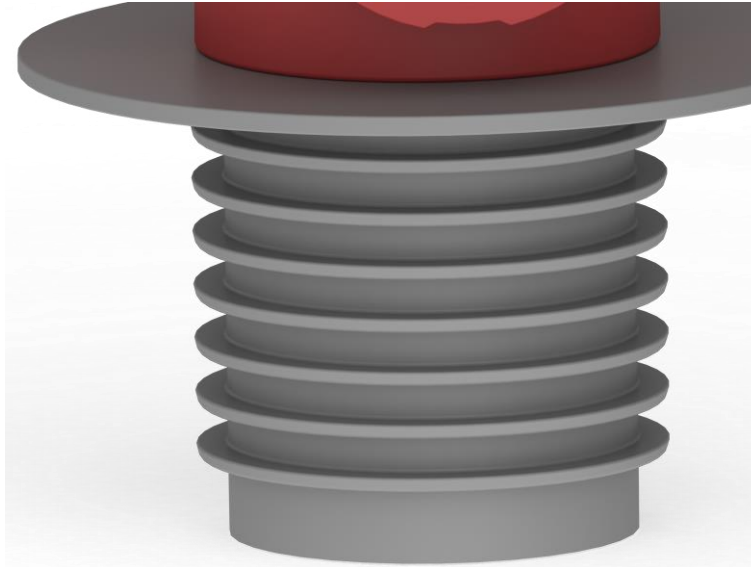
#### 4.5.4 Rotationsmekanism



**Figur 4.10: Rotationsmekanism**

Efter att kundkraven analyserats stod det klart att det behövdes någon form av rotationsmekanism som indikerar när vinkorken är öppen eller försluten, se Figur 4.10. Men det behövs också en funktion för att förhindra att ventilen roteras oavsiktligt under användning av vinkorken. Därför föll valet på en typ av snap fit-lösning där ventilen låser sig efter 180 grader, vilket indikerar ifall vinkorken är öppen eller stängd. Det behövs också ett visst moment för att flytta ventilen ur sitt läge. Förutom att ett visst moment behöver påläggas för att rotera korken, ger också snäppet ett klick-ljud som signalerar att ventilen är i en viss position. För att förenkla rotationen av ventilen, är ett spår urgröpt i ventilen för att minska motståndet för rotationen av ventilen samt minska slitaget på snäppet.

#### 4.5.5 Flaskmonteringsmekanism



**Figur 4.11: Flaskmonteringsmekanism**

För att kunna fästa vinkorken i flaskan används flänsar, se Figur 4.11 och Figur 4.12. Det är en vanlig lösning för liknande produkter på marknaden som är gjorda av termoplastiska material. Målet med flänsarna är att ge en tät förslutning samtidigt som det ska vara möjligt att montera vinkorken på flaskan utan att en för stor monteringskraft krävs. Samtidigt måste vinkorken kunna avmonteras till en avmonteringskraft som är balanserad mellan att ge en bra tättningsförmåga, funktion och lagom kraft för att avmonteras. Det är viktigt att vinkorken kan avmonteras från flaskan, framför allt för att det ska kunna vara möjligt att återanvända vinkorken och att vid slutet av vinkorkens livslängd kunna källsortera glasflaskan och vinkorken separat.



**Figur 4.12: Vinkork i flaskan**

Eftersom även glasflaskor har en viss avvikelse de nominella måtten, innebär detta att även flänsarna behöver fungera på glasflaskor som avviker från det nominella måttet. Det nominella måttet på flaskhalsen som flänsarna är optimerade för är en diameter på 18,5 mm. Målet med utformningen av flänsarna är de ska kunna deformeras, men samtidigt helst undvika plastisk deformation för att behålla en lång livslängd.



#### 4.5.6 Ytterligare funktioner



**Figur 4.13: Nolato-logotyp på baksidan av vinkorken**

För att indikera att produkten är utvecklad i samarbete med Nolato visas Nolatos logotyp på baksidan av vinkorken, se Figur 4.13. Den röda färgen på brandposten passar också bra med färgsättningen på Nolatos logotyp.

#### 4.5.7 Materialval

Valet av material grundades på kundkraven och intressenternas krav. Bland annat skulle vinkorken ha en låg miljöpåverkan, där spelar materialet en stor roll. För att kunna uppnå målspecifikationen hade materialegenskaperna för båda delarna en stor inverkan på resultatet. Valet av material påverkade även tillverkningen av delarna, Melt Flow Index (TT) och glastemperatur var viktiga egenskaper.

Redan tidigt under konceptarbetet identifierades Polypropen (PP) och Polyeten (HDPE) som troliga val av material. Det berodde främst på dess låga styvhet som krävdes för att kunna få flänsarna att fungera som tänkt men också då ventilen flexar över kroppen, krävs ett material med låg styvhet. Valet att använda två olika typer av plaster beror på att det gav ett lägre friktionstal (PP och HDPE) i jämförelse med (PP och PP), vilket hade gjort det svårare att uppnå målspecifikation.

Valet av det specifika materialet gjordes tillsammans med Nolato MediTech för att det skall kunna realiseras i framtiden.

#### *4.5.7.1 Materialval kroppen*

Som material för kroppen valdes ett HDPE-material på grund av att dess låga styvhet och utmärkta kemikalieresistans. Den låga styvheten gör det möjligt för flänsarna att flexa och därmed passa för en större varians på flaskstorleken. Försumbar fuktabsorption och den utmärkta kemikalieresistansen gör materialet lämpligt att använda i en vinkork.

Det specifika materialet är SHA7260 från Braskem vilket är en biobaserad HDPE. Den biobaserad andelen är minst 94% enligt ASTM D6866.

#### *4.5.7.2 Materialval ventilen*

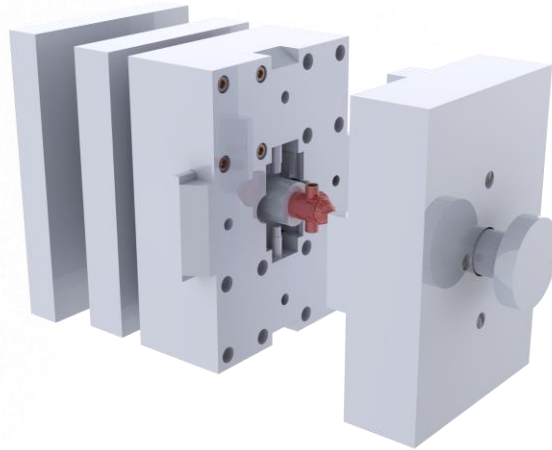
Som material för ventilen valdes ett PP-material som har många liknande egenskaper som HDPE vilket också gör den lämplig i en vinkork. PP är något styvare än HDPE vilket gjorde den mer lämplig för ventilen än kroppen.

Det specifika materialet är Bormed™ HF840MO från Borealis som är en massbalanserad PP.

### **4.5.8 Verktügskoncept**

Under hela produktutvecklingsfasen togs verktügskonceptet i hänsyn för att produkten skulle vara möjlig utan ett alltför komplicerat verktüg. Eftersom inköpet av verktüget är en hög kostnad, som ökar med mer komplexa verktüg och toleranser, var det av stor vikt att ha ett så enkelt verktüg som möjligt utan att förlora funktion på vinkorken.

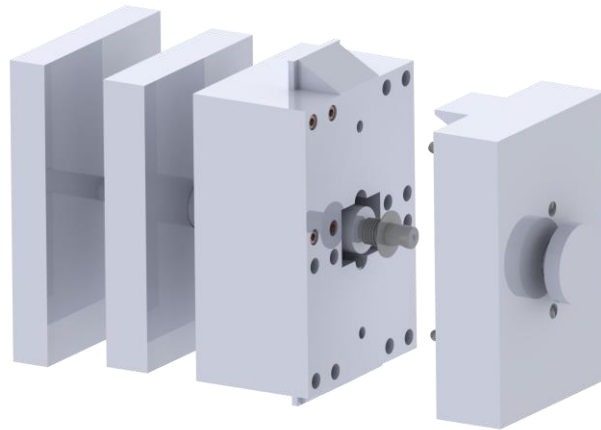
#### 4.5.8.1 Verktügskoncept ventilen



**Figur 4.14: Verktügskoncept för ventilen (Illustration av verktügskoncept gjord av Nolato)**

Verktügskonceptet, se Figur 4.14, för ventilen innehåller fyra backar och en kärna. På kavitetssidan sitter fyra vinklade pelare som möjliggör rörelsen av backarna. När kärnsidan rör sig framåt, mot kavitetssidan, tvingas de vinklade pelarna backarna inåt. Backarna behövs för att kunna göra vissa former, hålet på framsidan av ventil, de två handtagen på sidan och Nolato logotypen på baksidan. För vinkorkens funktion är hålet på framsidan ett måste, det gör det oundvikligt att använda ett annat sorts verktüg. Konceptet har ett varmkansystem, se Figur 4.14, vilket är ett sätt att minska mängden svinn och materialet slipper att värmas upp igen som det hade behövt göras ifall det skulle återanvändas om det vore ett kallkansystem. Placering av intaget är på toppen av ventilen. Vid intaget görs en ingötsbussning för att säkerställa en tät övergång mellan dysan och formverktüget. Verktüget har en kavitet.

#### 4.5.8.2 Verktügskoncept kroppen



**Figur 4.15: Verktügskoncept för kroppen (Illustration av verktügskoncept gjord av Nolato)**

Verktügskonceptet, se Figur 4.15, för kroppen innehåller två backar och en kärna. Likt konceptet för ventilen är backarna styrda av vinklade pelare. Konceptet har ett varmkansystem men kan också ha ett kallkansystem ifall det skulle vara önskvärt. Placering av intaget är på toppen av kroppen. Även för kroppen görs en ingötsbussning för att säkerställa en tät övergång mellan dysan och formverktüget. Verktüget har en kavitet.

# 5 Simuleringsarbete

## 5.1 Konstruktionsanalys

Under framtagandet av kravprofil på den slutliga produkten ingick flera krav på produkten såsom olika monteringskrafter och andra kundkrav. För att kunna avgöra om en viss design uppnår dessa krav användes finita elementmetoden genom mjukvaran Ansys Workbench 2024. De krav på produkten som framtoogs tidigare i produktframtagningsprocessen behöver därmed omformuleras till resultatparametrar i de olika simuleringarna.

**Tabell 5.1: Från målspecifikation till simulering**

<i>Målspecifikation</i>	<i>Simulering</i>	<i>Idealt värde</i>	<i>Max. värde</i>	<i>Min. värde</i>
9. Kraft för ihopmontering	Montering kropp och ventil	10 N	25 N	5 N
10. Kraft för avmontering	Avmontering kropp och ventil	40 N	60 N	15 N
11. Kraft för montering av vinkork i flaska	Montering kropp och flaska	40 N	60 N	15 N
12. Kraft för avmontering av vinkork ur flaska	Avmontering kropp och flaska	40 N	60 N	15 N
14. Kraft för att rotera ventil	Rotation kropp och ventil	2 N	4 N	15 N

*Notering:* Målspecifikation nr 5 uppnås genom att behålla töjningen på acceptabel nivå, se tabell 5.2

För att kunna avgöra ifall CAD:en som designats uppfyllde kraven i målspecifikationen skapades olika typer av simuleringar som mätte målspecifikationen, se Tabell 5.1. Likt målspecifikationen valdes ett idealt värde som skulle försöka uppnås. Minimum och maximum värdena skulle ses som ett intervall för vad som ansågs acceptabelt för det nominella fallet.

**Tabell 5.2: Ideala och acceptabla resultat för simulationerna**

<i>Simulering</i>	<i>Ideal reaktionskraft</i>	<i>Max. reaktionskraft</i>	<i>Min. reaktionskraft</i>	<i>Max. töjning</i>
Montering kropp och ventil	10 N	25 N	5 N	5,5%
Avmontering kropp och ventil	40 N	60 N	15 N	5,5%
Montering kropp och flaska	40 N	60 N	15 N	5,5%
Avmontering kropp och flaska	40 N	60 N	15 N	5,5%
Rotation kropp och ventil*	2 N	4 N	15 N	5,5%

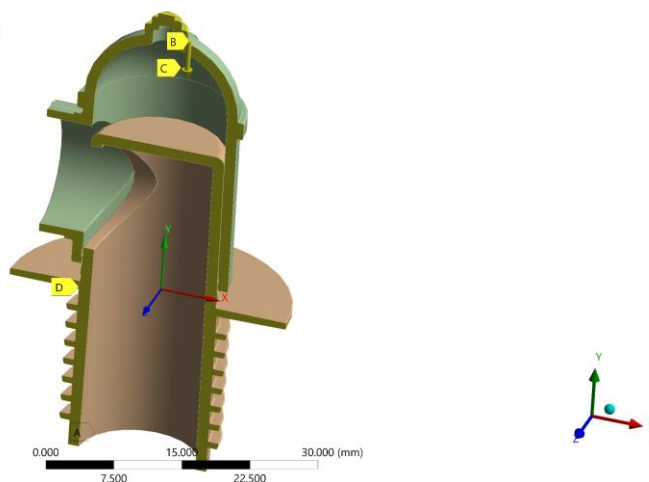
*Notering:* Reaktionsmomentet omräknas till en kraft

Tabell 5.2 är en fortsättning på Tabell 5.1 där även en gräns för maximal töjning är tillagd, som designen dimensioneras efter. Målspecifikation nr. 5 som anger livslängden för vinkorken, är svår att definiera eller uppskatta genom FE-simuleringar, men genom att vara under en töjning på 5,5% minskar risken för plasticering och vilket i slutändan skulle innebära en kortare livslängd.

### 5.1.1 Montering kropp och ventil

BR: Vinkork FEM 45 Splitt friction adjusted material 0.12  
 Displacement 3  
 Time: 2. s  
 06/05/2024 19:32

A Fixed Support  
 B Displacement  
 C Displacement 2  
 D Displacement 3



**Figur 5.1: Randvillkor för monteringsrörelsen**

För monteringen av ventilen på kroppen behövde randvillkor sättas upp som speglar verkligheten. För att minska mängden noder/element och beräkningstiden, delades CAD-modellen i två delar genom symmetriplanet. Eftersom det är symmetri genom planet som modellen skars igenom, kvarstod exaktheten trots att modellen delades. Ett till displacement randvillkor, sattes på toppen av ventilen (se Figur 5.1), det

randvillkoret förflyttade ventilen i y-led till det monterade läget. Kroppen var fixerad i botten av delen. Kontakten mellan ventilen och kroppen var en friktionskontakt, med ett friktionstal på 0,12 som är den dynamiska friktionskoefficienten. Med tanke på att de två ytorna var i rörelse mot varandra med en viss hastighet användes den dynamiska friktionskoefficienten.



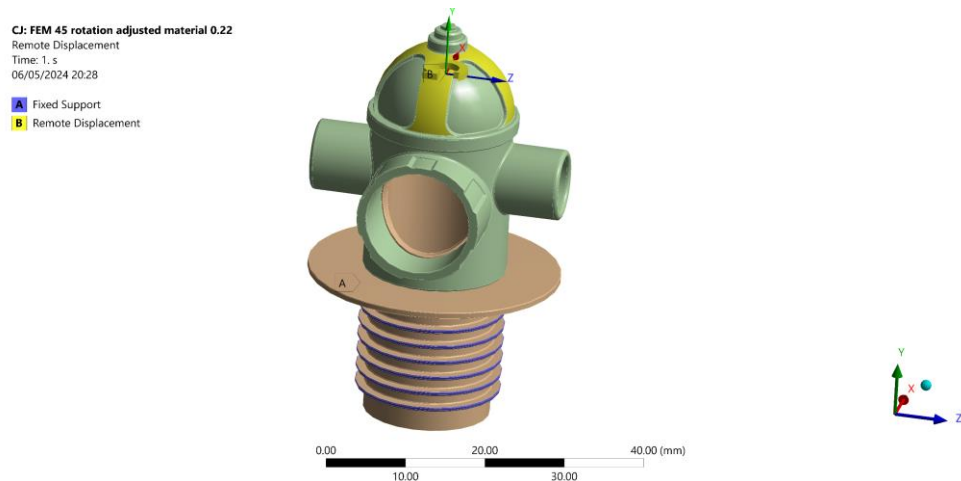
**Figur 5.2: Mesh för montering kropp och ventil**

Meshen för montering kropp och ventil var finare i området kring det ringformade snäppfästet, se Figur 5.2. Det gjordes för att förbättra resultaten och undvika konvergeringsproblem.

### 5.1.2 Avmontering kropp och ventil

Randvillkoren var samma som i Figur 5.1 för avmonteringsrörelsen. Även samma mesh användes och även inställningarna återanvändes. Kontakten mellan ventilen och kroppen var en friktionskontakt, med ett friktionstal på 0,22 som var den statiska friktionskoefficienten. Då de två delarna var i vila i monterat läge, blev det den statiska friktionskoefficienten som skulle övervinnas för att kunna starta förflyttningen.

### 5.1.3 Rotation kropp och ventil



**Figur 5.3: Randvillkor för rotationsrörelsen**

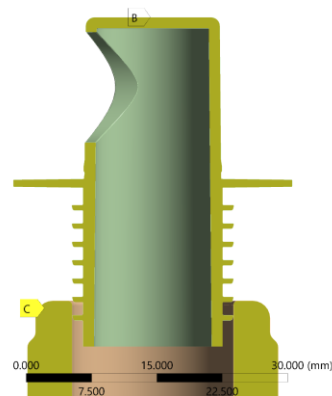
Till skillnad från de andra rörelserna, krävde denna simulation att den fulla modellen (inte en delad) användes, se Figur 5.3. Tanken var därför att rotationsrörelsen huvudsakligen sker när vinkorken är monterad i flaskan. Därför var "fixed"-randvillkoret satt på flänsarna som genom friktionskraften är låst mot flaskan. Som randvillkor för rotationen användes "remote boundary condition" som roterade ventilen från 0–18 grader i det första steget och sedan tillbaka till ursprungsläget i det andra steget. Meshen var helt annorlunda, jämfört med de andra simulationerna, då de högsta spänningskoncentrationerna var på helt andra ställen än i de tidigare simulationerna. Dessutom var modellen i den dubbla storleken, vilket innebar fler element. Meshen gjordes därför om, med fler element i områdena med större spänningar och grövre mesh i andra områden. Friktionstalet som användes i simuleringen var det statiska på 0,22, på grund av att de två delarna började i monterat läge likt avmonteringsrörelsen för kroppen och ventilen.



## 5.1.4 Montering och avmontering kropp och flaska

**BX: Vinkork FEM 45 friction 0,3 flaska split**  
Displacement  
Time: 2. s  
06/05/2024 21:01

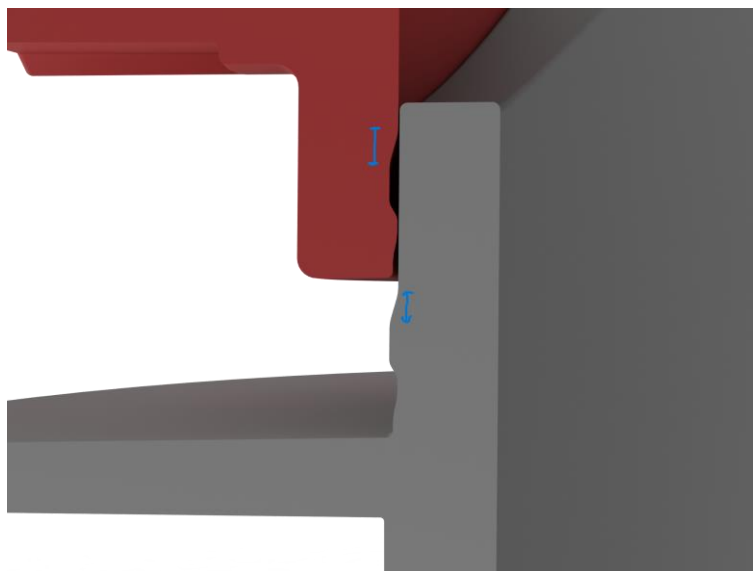
**A** Fixed Support  
**B** Displacement 2  
**C** Displacement



**Figur 5.4: Randvillkor för på och avmonteringsrörelsen av kroppen i flaskan**

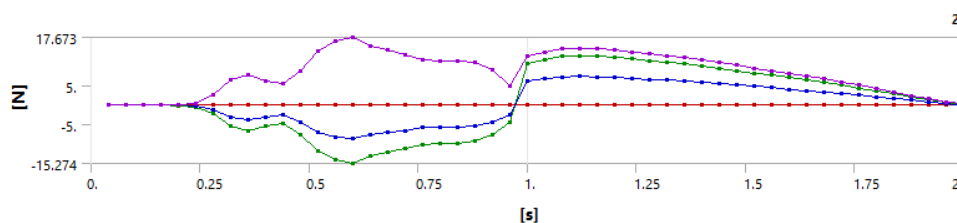
För monteringen och avmonteringen av kroppen in och ur flaskan användes återigen en delad modell, se Figur 5.4. I verkligheten är det troligt att kroppen och ventilen är monterad när vinkorken trycks ner i flaskan. Men då ventilen knappt hade varit utsatt för några krafter är det rimligt att plocka bort ventilen för denna simulering. Genom att ta bort ventilen gick det att minska antalet element utan att resultaten skulle påverkas nämnvärt. Likt de tidigare simuleringarna var det ett displacement randvillkor på alla ytor på det delade planet. Det var också ett annat displacement randvillkor som förflyttade kroppen i y-led till det monterade läget i det första steget. I det andra steget förflyttade sig kroppen tillbaka till sin ursprungliga position. Friktionstalet som användes var 0,3. Meshen för denna simulering hade en finare mesh vid flänsarna jämfört med tidigare simulationer då flänsarna var det intressanta området i denna simulering.

### 5.1.5 Designförändringar med hjälp av konstruktionsanalys



**Figur 5.5: Alternativ design på det ringformade snäppfästet**

Under designprocessen skedde designförbättringar kontinuerligt genom att iterativt använda konstruktionsanalys och CAD. Ett exempel på en designförbättring visualiseras i Figur 5.5 där ingångsvinkeln var mycket större än i den slutgiltiga designen i Figur 4.9.



**Figur 5.6: Monteringskraft alternativ design på det ringformade snäppfästet**

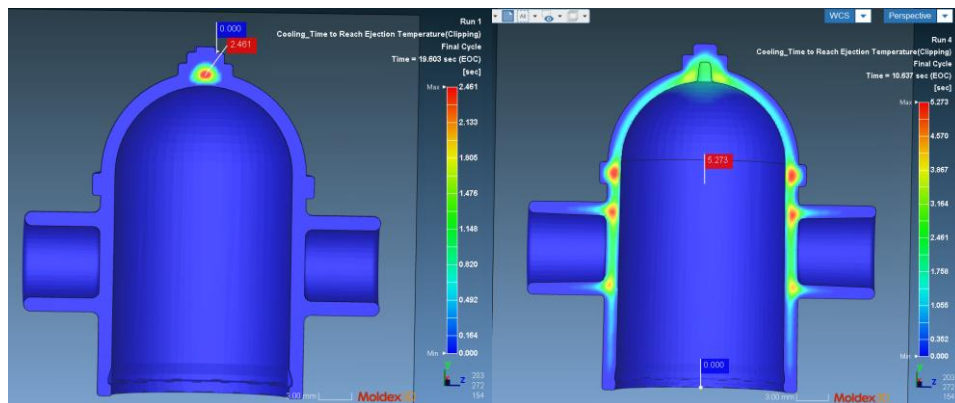
Den största monteringskraften för den alternativa designen med en större ingångsvinkel var 17,7 N, se Figur 5.6. Det kan jämföras med den slutliga designen som hade en monteringskraft på 15,9 N. Detta stämde överens med den grundläggande fysiken bakom snäppfästen, där en större ingångsvinkel ger högre monteringskraft. Genom att på detta sätt systematiskt göra designförändringar efter simuleringsresultaten var det möjligt att hamna nära målspecifikationen.

## 5.2 Formfyllnadssimulering

För att skapa sig en förståelse och insyn i hur produktionen av komponenterna faktiskt ser ut och vad den resulterar i krävdes också en tillverkningsmodellering för formsprutningsprocessen. Förutom behovet att tillse att komponenterna faktiskt går att tillverka var det också av stort intresse att undersöka hur komponenterna påverkades av processen i sig samt om tillverkningsprocessen var något som skulle komma att ha en negativ påverkan på produktens funktionalitet och krav.

### 5.2.1 Designförbättringar

Inledningsvis användes Moldex 3D för att kontrollera och åtgärda stora designfel i de tidigare versionerna av komponenterna. Ett exempel på ett designfel som upptäcktes med hjälp av Moldex var den avvikande tjockleken på ventilens topp, vilket ledde till en onödigt lång kyltid för plasten vid produktion, se Figur 5.7. Efter att det uppmärksammades korrigerades designen för att få samma tjocklek i sin konstruktion och problemet åtgärdades.

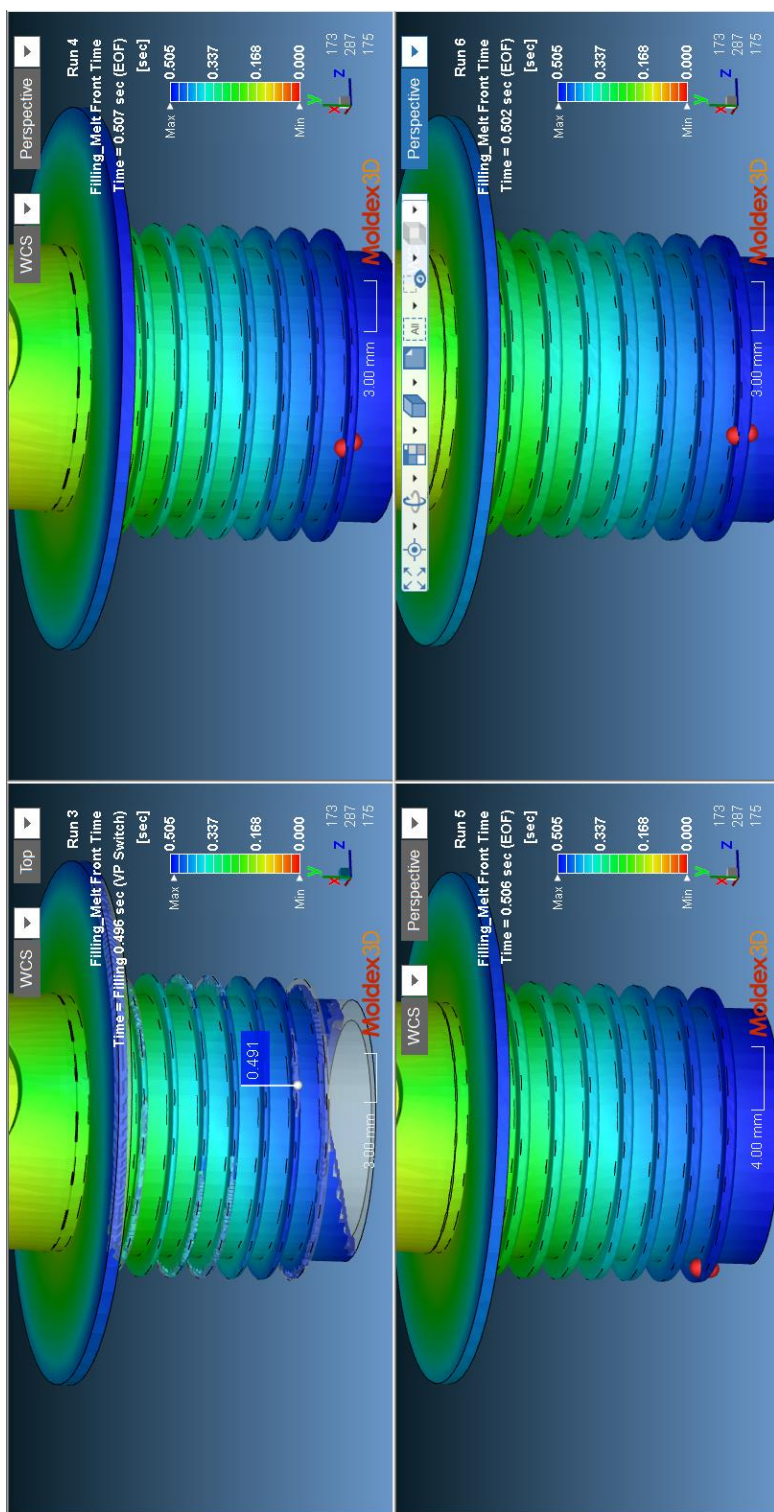


**Figur 5.7: Äldre design (vänster) jämfört med uppdaterad design (höger) för tid att uppnå utstötningstemperaturen (s).**

När designen på produkten och dess komponenter började närma sig sitt slutskede genomfördes mer utförliga och representativa tillverkningsmodelleringar. Tidigare hade kraven på simuleringarna inte varit särskilt höga då de skedde i ett stadi där större fel och designbrister skulle identifieras, men när felen blev mindre och mindre behövde tillverkningsmodelleringen anpassas för att bättre stämma överens med den verkliga processen. Experter på Nolatos tekniska avdelning rådfrågades om lämpliga inställningar för den fiktiva formsprutan, precisionen på analysen ökades och mer representativa material användes (efter materialvalet) jämfört med de tidigare mer generiska materialen.

Vid analys av simuleringsresultaten uppmärksammades ett problem: De övre flänsarna på kroppen fylldes inte med plastsmälta hela vägen ut till kanten. Då det är de översta flänsarna som kommer i störst kontakt med flaskan innebar detta ett stort problem. I bästa fall hade plasten på kroppen sett konstig ut, i värsta fall hade kroppen tappat sin inspännande förmåga och blivit värdelös. Efter rådfrågning av Nolato's tekniska avdelning konstaterades det att problemet orsakades av fenomenet "hesitation" och att det eventuellt kunde åtgärdas genom en ökad tjocklek av flänsarna. Det skulle i sin tur kunna leda till andra problem men det var ändå den bästa lösningen.

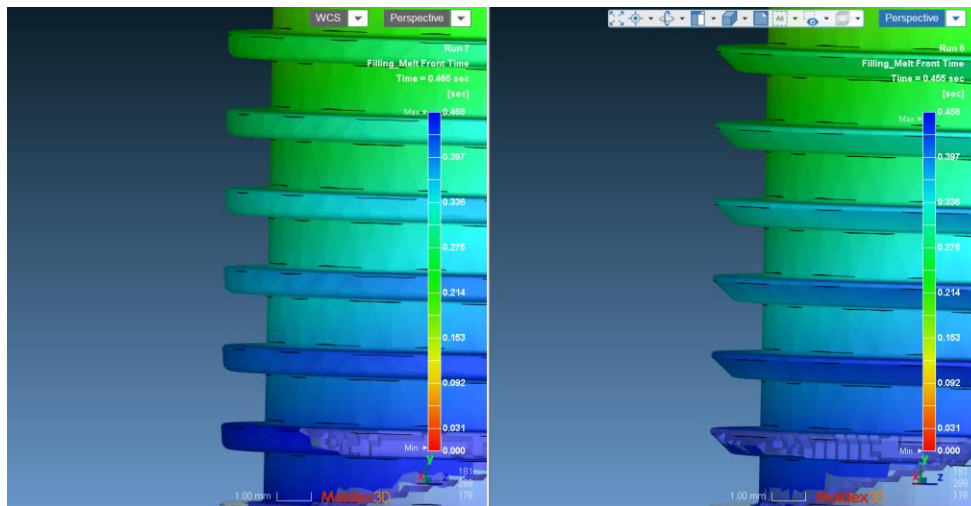
För att undersöka hur flänstjockleken påverkade uppkomsten av hesitation i flänsarnas kanter skapades fyra olika exempel av komponenten, där flänstjockleken varierades i intervallet 0,4–0,85 mm. Simuleringarna kördes med exakt samma inställningar och gränsvärden för alla fyra exempel, varpå följande resultat erhöles:



Figur 5.8. Jämförelse av flänstjockleken påverkan på fyllnadstiden

Som illustreras i Figur 5.8 har simuleringen svårt att uppnå jämn utfyllnad av detaljen då flänsarna är för tunna (figuren uppe till vänster). Tack vare denna upptäckt och undersökning kunde en robustare design skapas, där flänstjockleken ändrades från 0,4 mm till 0,80 mm i tjocklek. Mer detaljerat resultat redovisas i kapitel 6.2.2.1.

Utöver flänsarnas tjocklek var det även intressant att veta om kontaktvinkeln på flänsarna hade någon påverkan på uppkomsten av hesitation eller inte. Därför gjordes ett experiment liknande den tidigare nämnda undersökningen, där två olika designs på flänsvinkel testades. Den första var den nominella designen med en flänsvinkel på 86 grader och den andra var en experimentell design med en flänsvinkel på 43 grader. Enligt Figur 5.9 verkar inte ”hesitation” uppkomma vid lägre flänsvinklar.



Figur 5.9: Jämförelse av en flänsvinkel på 86 grader (vänster) och 43 grader (höger)

### 5.2.2 Processförbättring via DOE

Efter att en slutgiltig design hade tagits fram för båda komponenterna genom utförligt konstruktionsanalytiskt arbete var det dags att hitta de bästa processinställningarna för tillverkningen. För att lyckas med detta och för att vidare demonstrera kapaciteten hos simuleringssprogrammet, skapades en Design of Experiments (DoE) i Moldex.

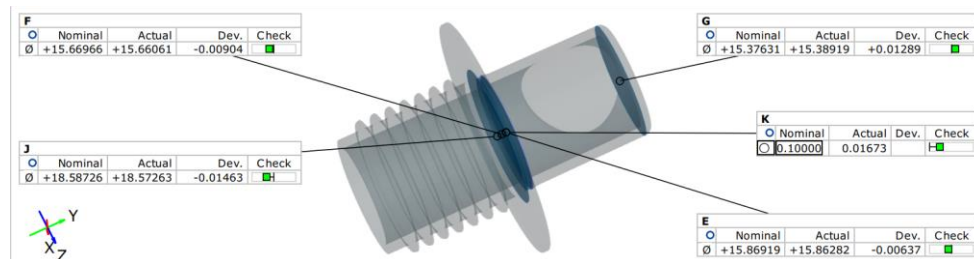
Innan en gedigen DoE kunde genomföras behövdes dock en lämpligare insprutningstid (fylltid) bestämmas. Tidigare simuleringar visade på att insprutningstiden var längre än nödvändigt då detaljen blev fylld innan tiden löpt ut, vilket ledde till bland annat höga tryck. Därför gjordes en mindre DoE för att endast

undersöka insprutningstiden. Denna DoE bestod av fyra körningar där insprutningstiden sattes till 0,3, 0,6, 0,9 och 1,2 sekunder vardera. Alla andra inställningar var desamma. Därefter studerades resultatet och insprutningstiden sattes till 0,3 sekunder som utgångsvärde för kommande DoE. Resultatet för dessa fyra simuleringar finns i kapitel 6.2.2.2.

Nu fanns det tillräckligt med stabilt underlag för att börja finslipa på program-och maskininställningarna, så en ordentlig DoE skapades. DoE:n utfördes endast på kropp-komponenten, dels för att DoE:n skedde i demonstrativt syfte, dels på grund av tidsbrist. DoE:n ställdes upp med endast processinställningar som inparametrar och volumetric shrink (krymp) som utparameter för att undersöka vilka processinställningar som hade stort påverkan på detaljens krymp. Därtill går det att utvinna information om hur känslig detaljen hade kunnat vara för krymp vid kontinuerlig tillverkning när förhållandena varierar, samt hur mycket storleken på detaljen skall krympkompenseras för att uppnå en geometri så nära den nominella detaljen som möjligt efter tillverkning. Denna DoE är nära kopplad till mått-och toleransanalysen som sedan gjordes och återfinns i kapitel 5.3.3.

## 5.3 Mått-och toleransanalys

### 5.3.1 Kritiska mått



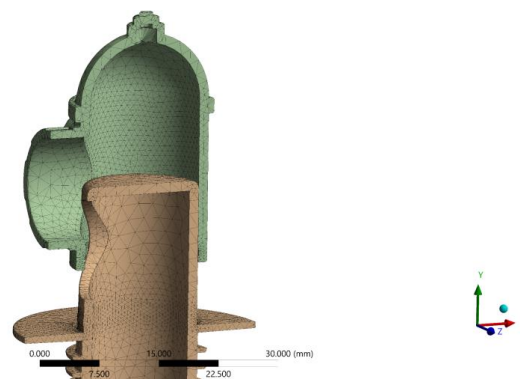
**Figur 5.10: Bild från mått-och toleransanalys på kroppen (Bild: Nolato)**

De kritiska måtten sattes på "kroppen" enligt Figur 5.10. Mått "J" motsvarade det yttersta måttet på den övre flänsen. Det var ett viktigt mått för att det avgör den maximala töjningen och reaktionskraften för monteringen i flaskan. Måtten "E" och "K" var mått på ytterdiametern på det ringformade snäppfästet, måttet "E" var ett diametermått medan måttet "K" var ett rundhetsmått. Båda dessa mått hade en stor påverkan på friktionskraften mellan de två delarna under monteringen och avmonteringen. Måttet "F" var diametern precis under det ringformade snäppfästet, detta mått hade en stor påverkan på avmonteringskraften och ansågs därför vara ett kritiskt mått. Mått "G" var måttet längst upp på kroppen innan radie och ska

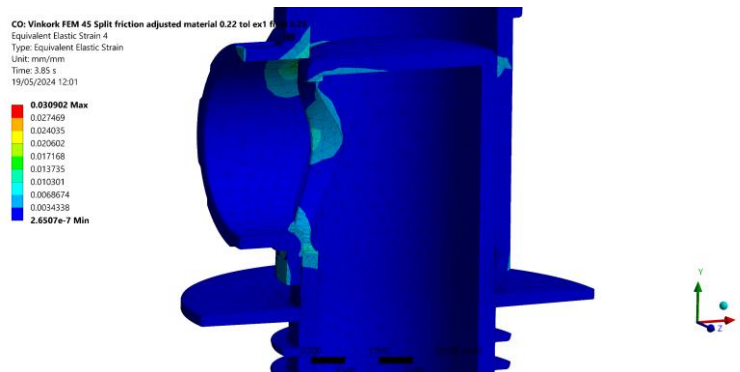
motsvara släppningsvinkel. Eftersom släppningsvinkeln var svår att mäta i mätprogrammet användes istället måttet "G".

Även för ventilen valdes fem kritiska mått. Två av dem var motsvarande mått motsvarande "E" och "K" för ventilen, alltså ytterdiametern på det ringformade snäppfästet. Ett annat kritiskt mått var diametern för den nedersta kanten på insidan av ventilen. Det fjärde måttet motsvarade "G" fast på ventilen. Det sista måttet var längden ett mått på det ringformade snäppfästet som påverkar avmonteringskraften. Eftersom inte ventilen mättes i mätprogrammet behövde inte ventilens mått vara mätbara i programmet.

### 5.3.2 Konstruktionsanalys



Figur 5.11: Mesh för extremfall 1



Figur 5.12: Töjning för avmontering, extremfall 1

På grund av de nya dimensionerna i de båda extremfallen behövde analyserna modifieras från den nominella fallet. För extremfall 1 blev simulationen likt en presspassning vilket ger enet annan spänningskoncentration över vinkorken. Detta innebar att meshen, se Figur 5.11, behövde förändras för att undvika konvergeringsproblem. På grund av den mer spridda töjningskoncentrationen för



extremfall 1, se Figur 5.12, behövde meshen vara finare över ett större område. För att de två delarna inte skulle vara i kontakt med varandra innan simulationen startade behövde ventilen starta längre bort i y-led i jämförelse med det nominella fallet. Detta innebar att simulationerna tog längre tid än i det nominella fallet då fler substeg behövdes.

### 5.3.3 Formfyllnadssimulering

**DOE Wizard**

**Setting** Summary

**DOE Information**

Name: DOE 4

Base Run: Run 7

Analysis Sequence: Transient Analysis - Cf F P Cf W

DOE Method: Taguchi Method

**Method**

Levels: 2 (2~5 or mixed level)

Control Factors: 4 (2~16)

Taguchi Array: L8(2<sup>7</sup>) - 8 Runs, 7 Factors with 2 Levels

**Factors**

#	Control Factor	Level 1	Level 2
1	Filling Time [sec]	0.25	0.5
2	Melt Temperature [°C]	205	225
3	Mold Temperature [°C]	30	50
4	Max. Packing Pressure [MPa]	200	250

#	Quality Factor	Target	Goal	Weighting	%	Property
1	Packing_Volumetric Shrinkage [%]	Global	Smaller	1	100.0%	⚙️

Next Close

Figur 5.13: Konfigureringen av DoE och dess inparametrar

DOE Wizard

Setting **Summary**

DOE Table

Control Factor	Filling Time [sec]	Melt Temperature [°C]	Mold Temperature [°C]	Max. Packing Pressure [MPa]	Quality Factor	Packing Volumetric Shrinkage [%] (Max)	Add Quality Factor
Level	2	2	2	2	Target	Global	
Min	0.25	205	30	200	Goal	Smaller	
Max	0.5	225	50	250	Weighting	1	0
1. Run 21	0.25	205	30	200	1. Run 21	8.82734	
2. Run 22	0.25	205	50	250	2. Run 22	7.76019	
3. Run 23	0.25	225	30	250	3. Run 23	7.9825	
4. Run 24	0.25	225	50	200	4. Run 24	8.79777	
5. Run 25	0.5	205	30	250	5. Run 25	8.03909	
6. Run 26	0.5	205	50	200	6. Run 26	8.53427	
7. Run 27	0.5	225	30	200	7. Run 27	8.71514	
8. Run 28	0.5	225	50	250	8. Run 28	7.63032	
<b>Run 29*</b>	<b>0.5</b>	<b>225</b>	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>Run 29*</b>	<b>7.63032</b>	
Prediction							
Setting	0.5	225	50	250	Predicted Value	7.67088	

Back Close

**Figur 5.14: Sammanfattning av körningarna i DoE**

DoE:n resulterade i 9 simuleringar, se Figur 5.14, baserat på de fyra varierande parametrarna i Figur 5.13, varpå en min- och en maxkörning plockades ut. Minkörningen var den körning med processinställningar som resulterade den minsta detaljen (mest krymp) och maxkörningen var den som resulterade i den största detaljen (minst krymp).

# 6 Resultat

## 6.1 Produktbeskrivning



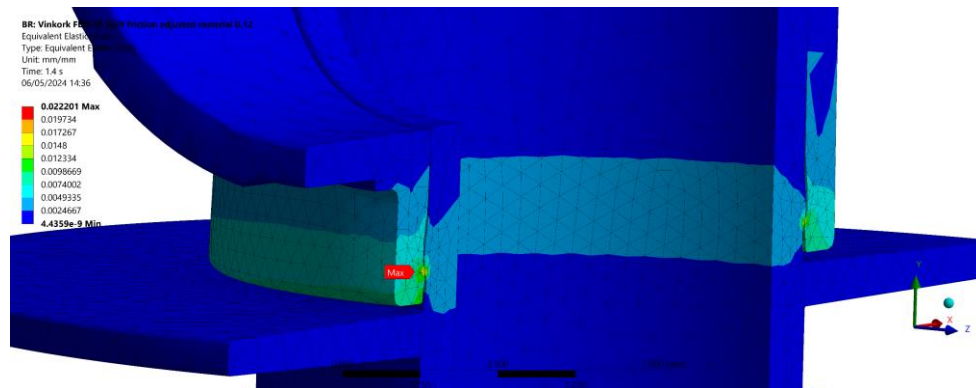
**Figur 6.1: Slutlig design på vinkorken**

Designen på vinkorken är enligt tidigare beskrivet i kapitel 4.5. Detta kapitel kompletterar med resultaten från simuleringarna på motsvarande design för att ange monteringskraften, avmonteringskraften med mera.

## 6.2 Simuleringsresultat

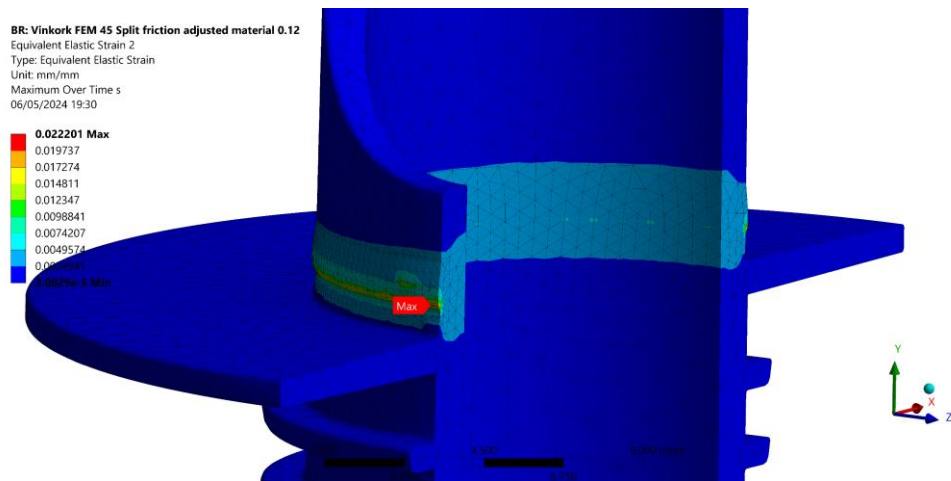
### 6.2.1 Konstruktionsanalys

#### 6.2.1.1 Montering kropp och ventil

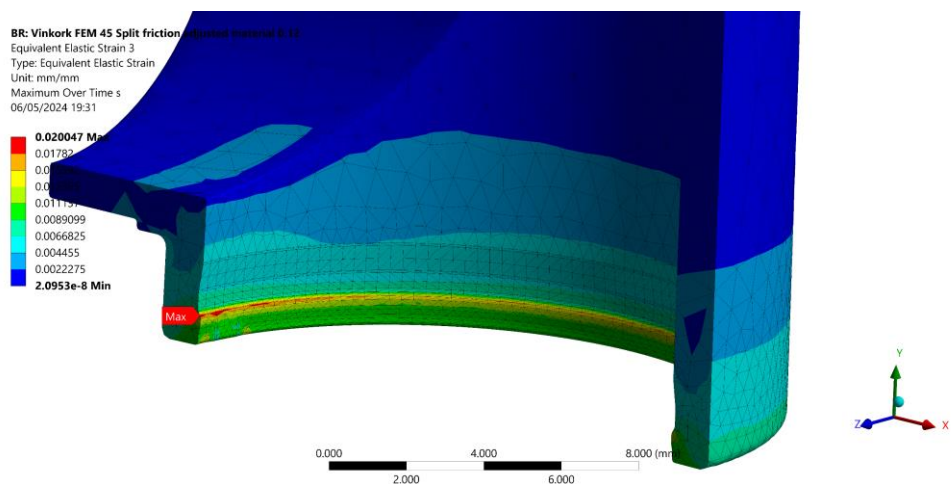


**Figur 6.1:** Största effektiva töjning (Von Mises) i monteringssteget för den slutgiltiga designen

Den största töjningen uppkommer precis innan de två delarna hoppar i monterat läge. Töjningen är 2,2% som mest, vilket ger en god marginal till den kritiska gränsen på 5,5% som motsvarar töjningen vid sträckgränsen med en säkerhetsmarginal på 2. Den goda marginalen mot den kritiska gränsen ger möjlighet att ha större toleranser utan att delarna går sönder. Förutom den största töjningen, se Figur 6.1, är töjningen också stor när undersidan på ventilen träffar kroppen i början av monteringssteget. Töjningen är stor i detta tillfälle då endast en liten yta på ventilen är i kontakt med kroppen. Det är en konsekvens av designen för rotationsmekanismen som kräver ett spår på insidan av ventilen, se Figur 4.10. Detta problem löstes genom att iterativt sänka ingångsvinkeln och minska längden på spåret för rotationsmekanismen utan att signifikant öka rotationsmomentet.



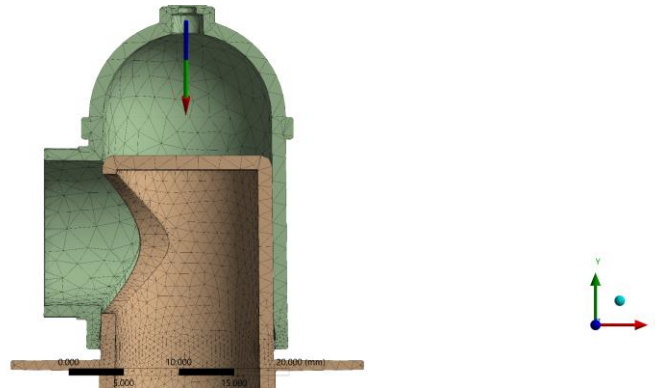
**Figur 6.2: Största effektiva töjning (Von Mises) i monteringssteget för kroppen**



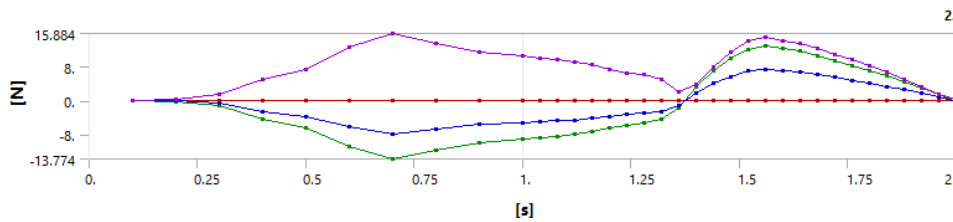
**Figur 6.3: Största effektiva töjning (Von Mises) i monteringssteget för ventilen**

Töjningen är större i ventilen än i kroppen. Vid analys av Figur 6.2 och Figur 6.3 framgår det att den största töjningen förekommer precis under hålet på båda delarna.

BR: Vinkorh FEM 45 Split friction adjusted material 0.12  
Force Reaction 2  
06/05/2024 14:46



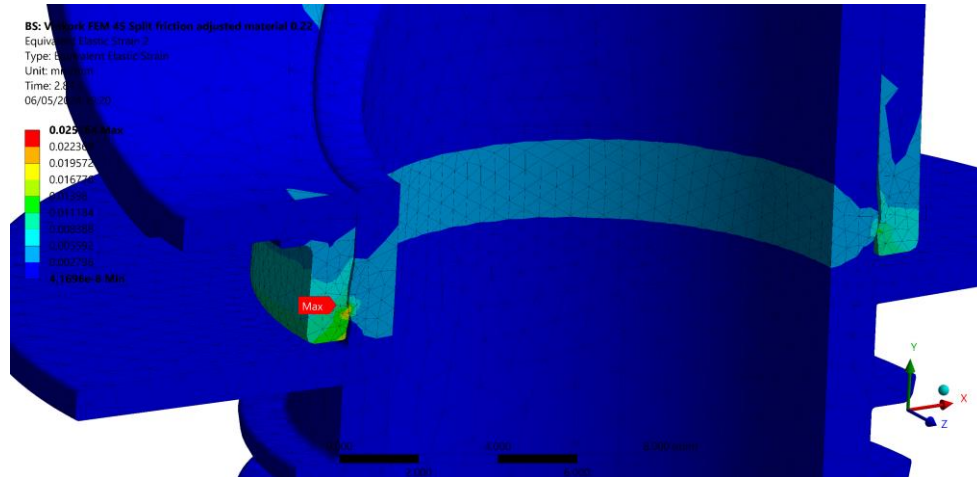
**Figur 6.4:** Läge för största reaktionskraft i monteringssteget



**Figur 6.5:** Graf över reaktionskraft i monteringsrörelsen

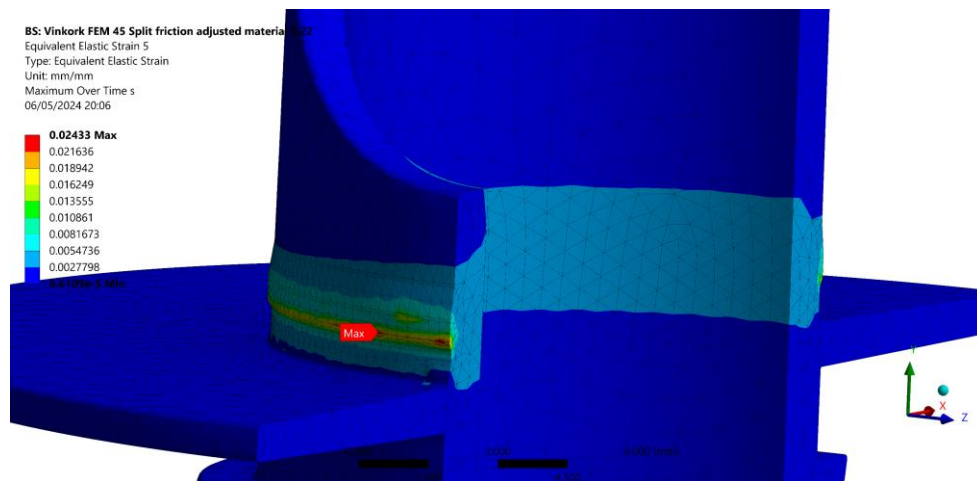
Den största reaktionskraften är 18,8 N under monteringsrörelsen. Till skillnad från töjningen sker den största reaktionskraften när ventilen ska utvidgas över ingångsvinken, se Figur 6.5. Dock är den storleken på reaktionskraften även stor när ventilen ”hoppas” i monterat läge, men den reaktionskraften är i motsatt riktning med monteringsrörelsen vilket innebär att den inte kommer att påverka användarens upplevelse. Enligt simulationens randvillkor vill displacement-villkoret förflytta ventilen enligt specificerad sträcka per tidssteg vilket kommer att ge en motreaktion mot förflyttningen när ventilen ”hoppas” i monterat läge snabbt.

### 6.2.1.2 Avmontering kropp och ventil

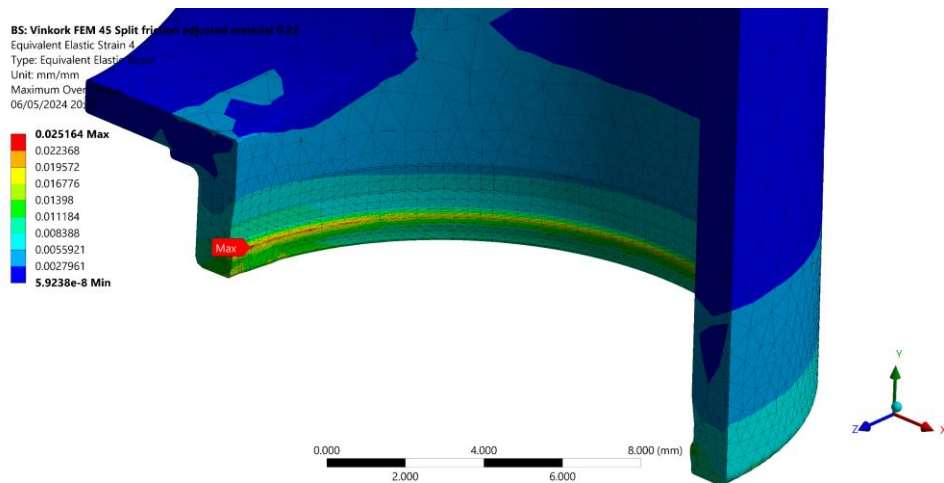


**Figur 6.6: Största effektiva töjning (Von Mises) i avmonteringsrörelsen för den slutgiltiga designen**

Motsatt monteringsrörelsen är töjningen störst precis innan de två delarna hoppar ur monterat läge. Töjningen är 2,5% som mest, vilket är en god marginal till den kritiska gränsen på 5,5%.

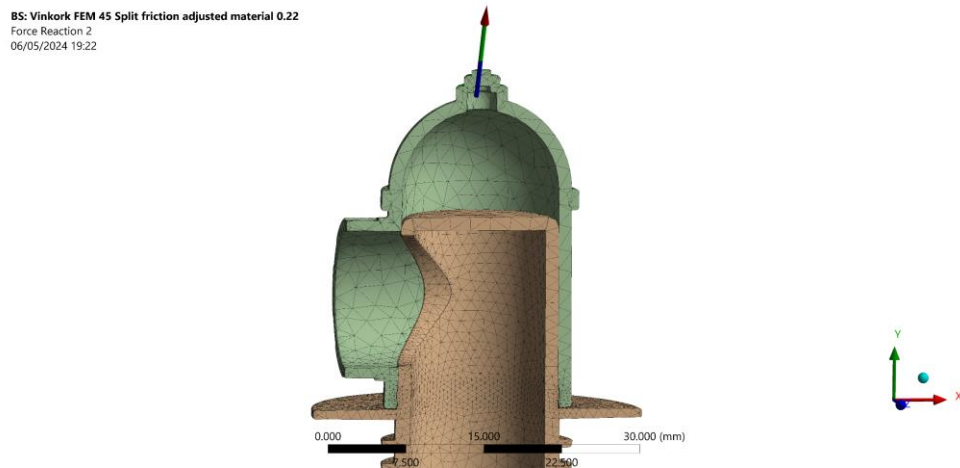


**Figur 6.7: Största effektiva töjning (Von Mises) i avmonteringsrörelsen för kroppen**

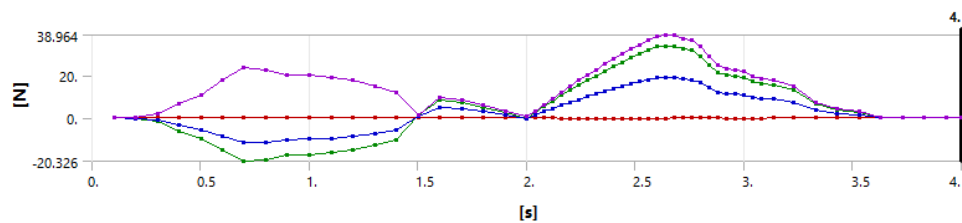


**Figur 6.8: Största effektiva töjning (Von Mises) i avmonteringsrörelsen för ventilen**

Den största effektiva töjningen är lite större i ventilen än i kroppen. Töjningskoncentrationen är väldigt lik monteringsrörelsen, med störst töjning under hålet på kroppen respektive ventilen.



**Figur 6.9: Läge för största reaktionskraft i monteringsrörelsen**

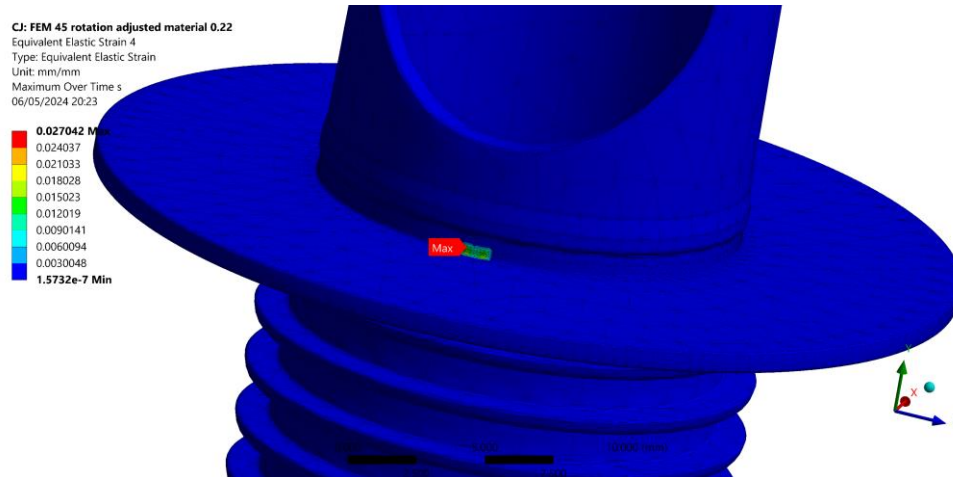


**Figur 6.10: Graf över reaktionskraft i avmonteringsrörelsen, tidssteg 2-4 är avmonteringsrörelsen**

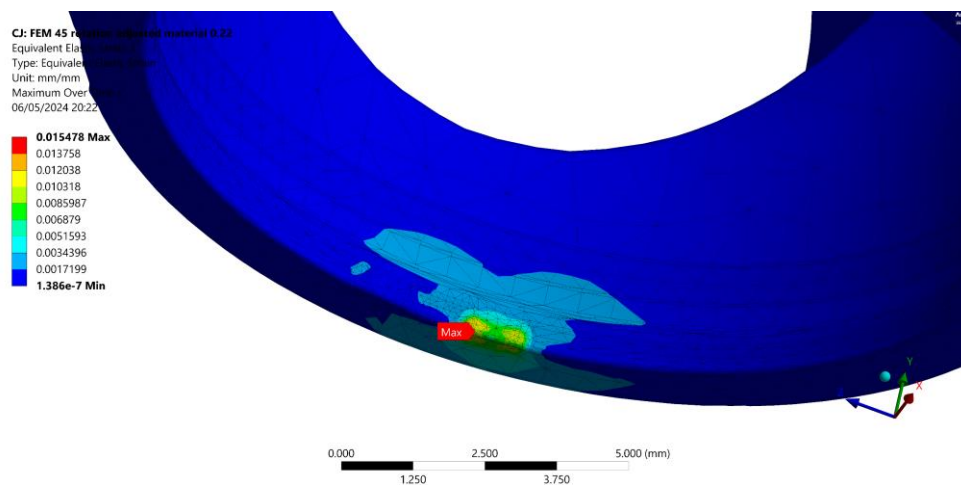


På grund av det högre friktionstalet men framför allt på grund av den större returvinkeln, är reaktionskraften för avmonteringen (Figur 6.10) större än reaktionskraften för monteringen (Figur 6.5). Den största reaktionskraften är 39,0 N, se Figur 6.10.

### 6.2.1.3 Rotation kropp och ventil



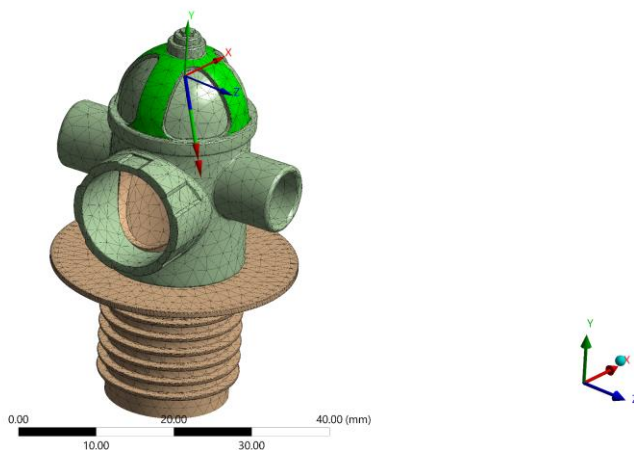
Figur 6.11: Största effektiva töjning (Von Mises) i rotationssteget för kroppen



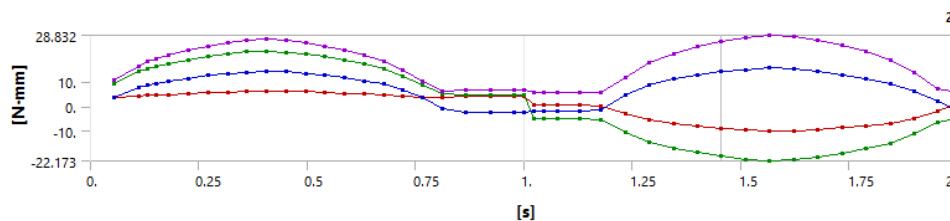
Figur 6.12: Största effektiva töjning (Von Mises) i rotationssteget för ventilen

För rotationssteget ser töjningsfördelningen helt annorlunda ut jämfört med montering och avmonteringsrörelsen. Den största töjningen är i kroppen, på 2,7%.

CJ: FEM 45 rotation adjusted material 0.22  
Moment Reaction 2  
08/05/2024 20:11



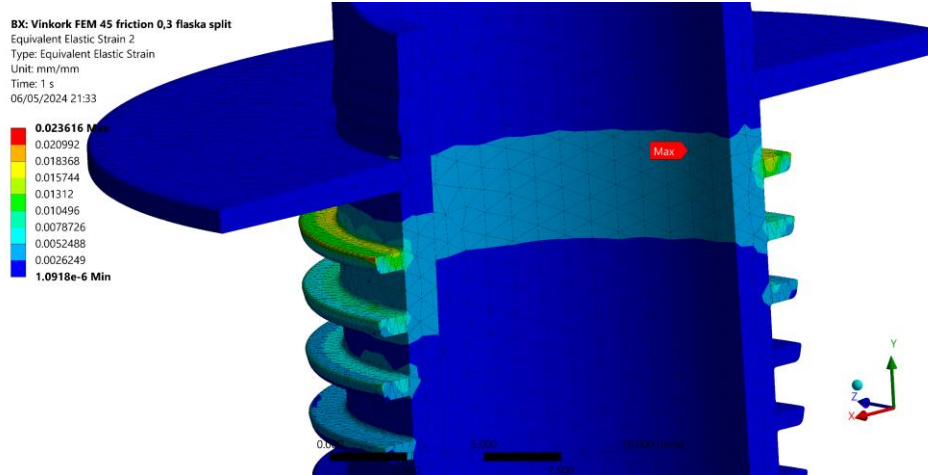
Figur 6.13: Läge för största reaktionsmoment i monteringsrörelsen



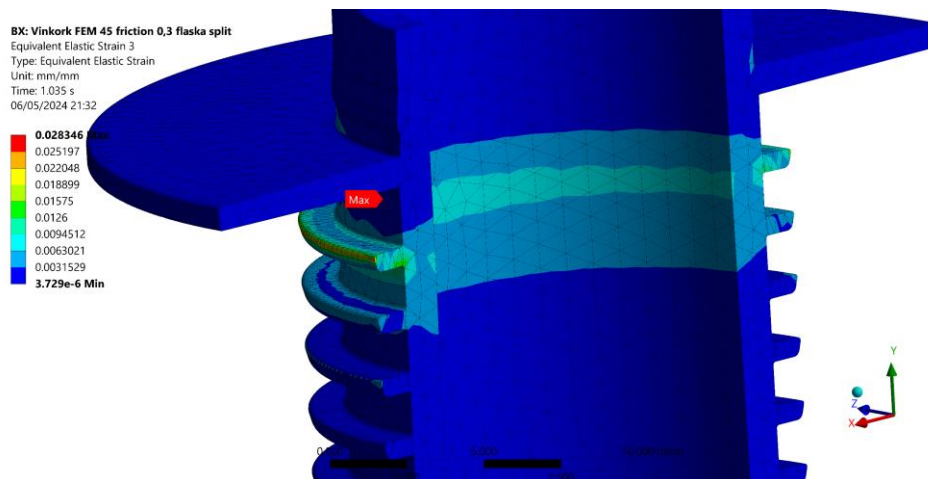
Figur 6.14: Graf över reaktionsmoment i rotationsrörelsen

Momentreaktionen uppgår till 28,8 Nmm som mest vilket motsvarar en reaktionskraft på 2,2 N med en hävarm på 13 mm. Tidstegen är spegelvända med en rotation på 18 grader, se Figur 6.13, runt Y-axeln (0–1 s) och tillbaka till ursprungsläget (1–2 s). Enligt Figur 6.14 är rotationsmomentet näst intill identiskt i de båda stegen.

#### 6.2.1.4 Montering och avmontering kropp och flaska

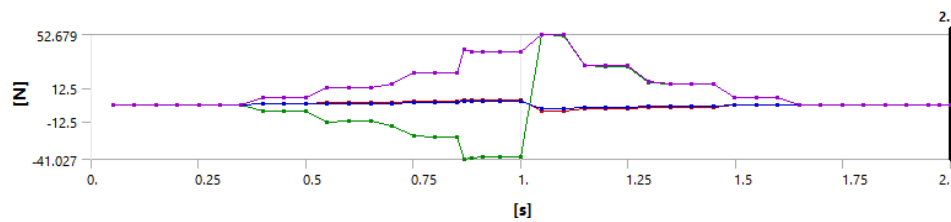


Figur 6.15: Största effektiva töjning (Von Mises) i montering i flaskan för kroppen



Figur 6.16: Största effektiva töjning (Von Mises) i avmontering ur flaskan för kroppen

Den största töjningen är i avmonteringen av kroppen från flaskan. Töjningen är 2,8% som mest under avmonteringen, se Figur 6.16, vilket är lägre än den kritiska gränsen på 5,5%. Med beaktande av toleranserna på kroppen (som går att kontrollera) och toleranserna på glasflaskan, behöver det finnas en stor marginal till den kritiska töjningen. Med tanke på att montering och avmontering inte beräknas ske många gånger under livslängden, är det inte heller avgörande att plasten inte plasticeras. Den största töjningen för monteringen i flaskan är 2,4%, se Figur 6.15.



**Figur 6.17: Graf över reaktionskraft i på och avmonteringsrörelsen**

Reaktionskraften under monteringsrörelsen av kroppen i flaskan var som högst 41,3 N, se Figur 6.17. Under avmonteringsrörelsen av kroppen ur flaskan var reaktionskraften som högst 52,7 N.

#### 6.2.1.5 Summering resultat från konstruktionsanalyserna

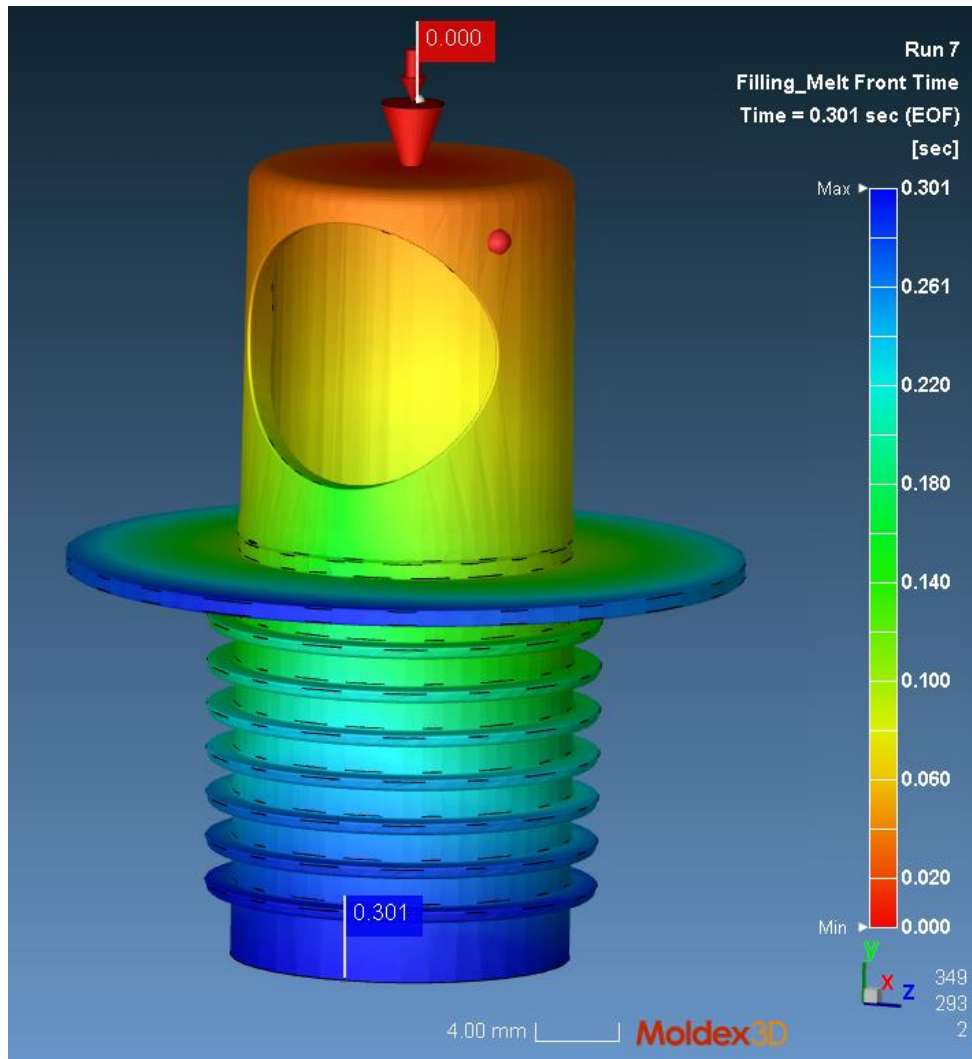
**Tabell 6.1: Summering resultat konstruktionsanalys slutlig design (nominellt)**

<i>Simulering</i>	<i>Reaktionskraft (N)</i>	<i>Töjning (%)</i>
Montering kropp och ventil	18,8	2,2
Avmontering kropp och ventil	39,0	2,5
Montering kropp och flaska	41,3	2,4
Avmontering kropp och flaska	52,7	2,8
Rotation kropp och ventil*	2,2	2,7

*Notering:* Reaktionsmomentet omräknas till en kraft

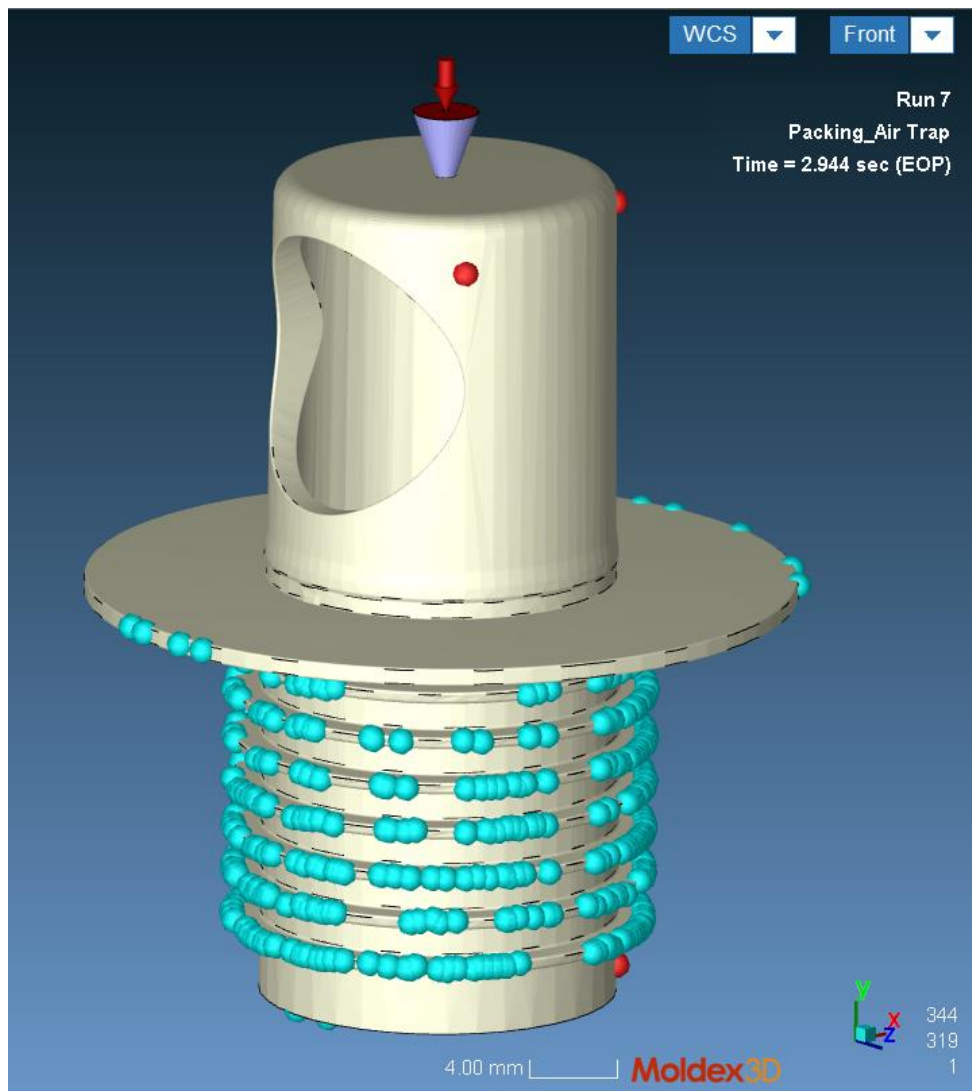
## 6.2.2 Formfyllnadssimulering

### 6.2.2.1 Resultat kropp



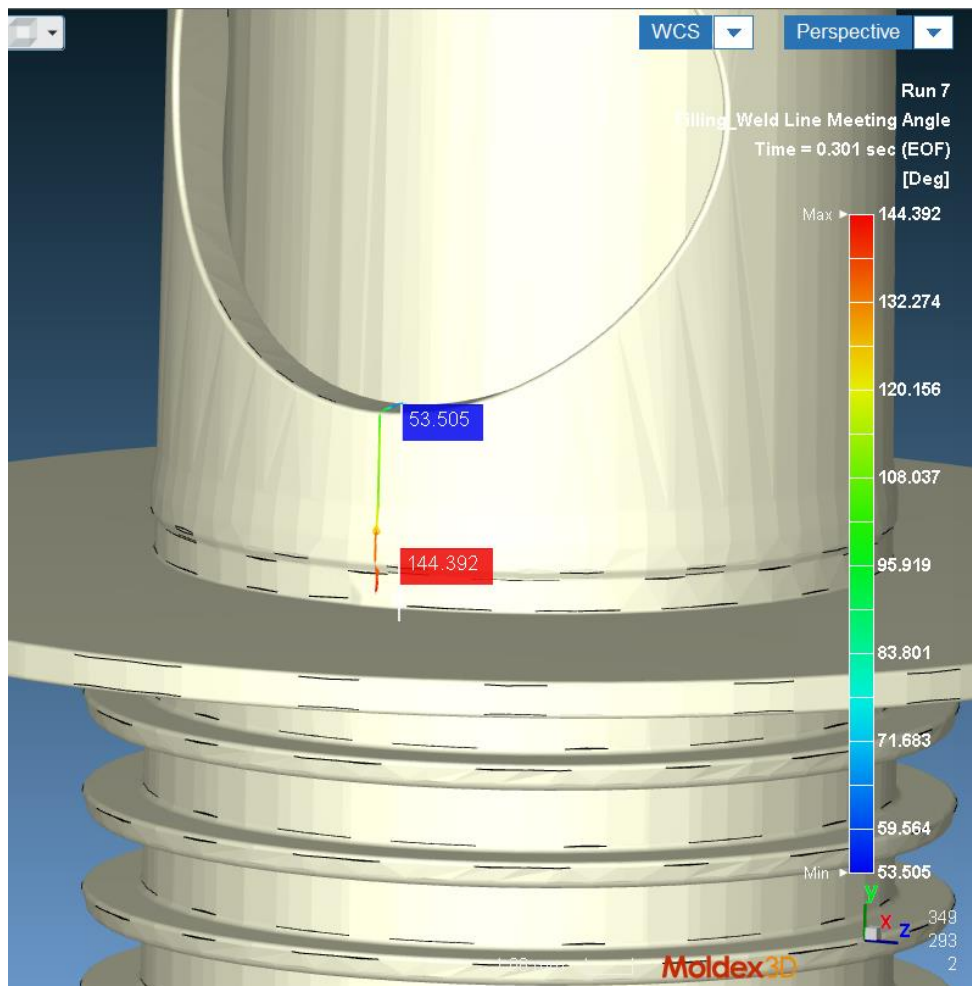
**Figur 6.18: Melt Front Time (s) för den slutgiltiga kroppen**

Som illustreras i Figur 6.18 fylls kroppen med plastsmälta på 0,301 sekunder, vilket är rimligt då insprutningstiden sattes till 0,3 sekunder. Den stora flänsen tillsammans med botten av detaljen fylls upp sist under fyllcykeln.



**Figur 6.19: Air Trap för den slutgiltiga kroppen**

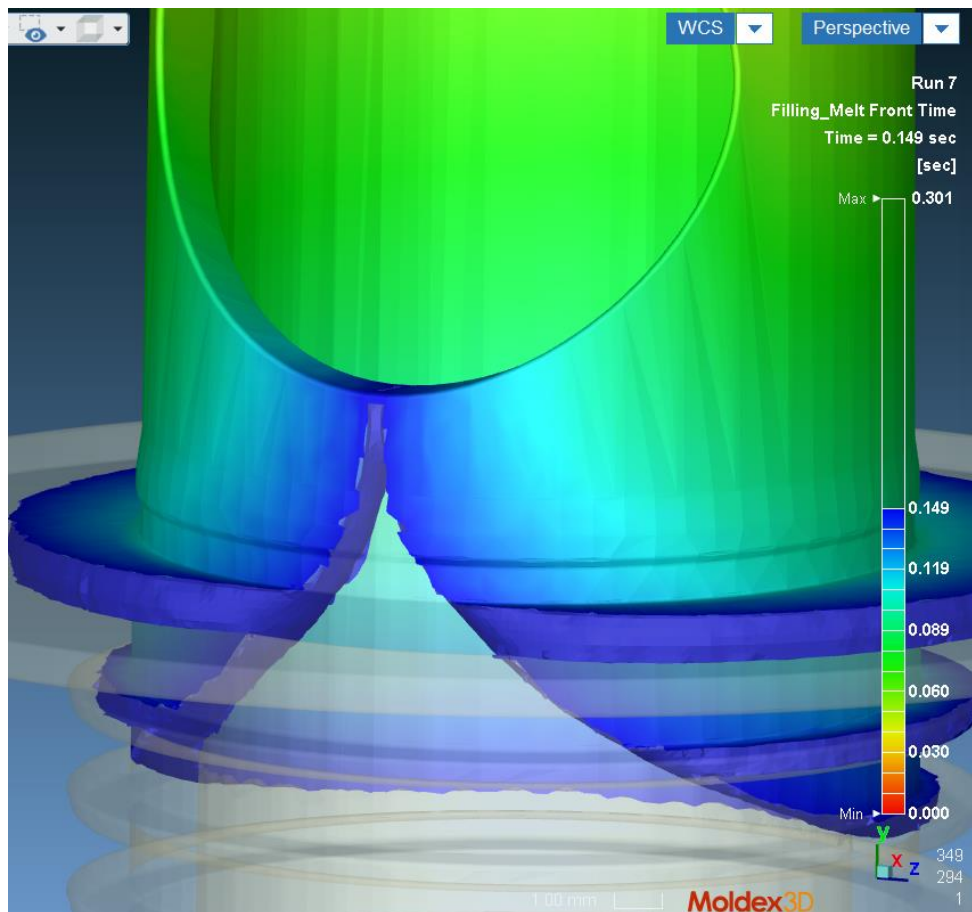
Vid fyllnad och packning av detaljen i Figur 6.19 går det att se att flera luftfickor isoleras till framför allt flänsarnas kanter. Detta är förväntat då luften i kaviteten trycks bort av den flödande plastsmältan och fastnar vid väggarna när smältan når dit. Detta kan leda till problem med detaljen, men detta är löst med luftkanaler vid flänsarnas ändytor för att låta luften lämna kaviteten.



**Figur 6.20: Sammanflytningslinje med sammanflytningsvinkel för den slutgiltiga kroppen**

Under fyllnadscykeln möts plastsmältan under det stora hålet på detaljen. Plastsmältan möts i en sammanfogningslinje med en sammanflytningsvinkel mellan 53,5 och 144,4 grader, se Figur 6.20. Det är önskvärt med en hög sammanflytningsvinkel, då en mindre vinkel generellt innebär svagare detalj i sammanflytningslinjen. Vid en vinkel på 0 grader möts smältfronterna rakt på varandra. Medan en vinkel på 180 grader kan anses vara en enda smältfront.

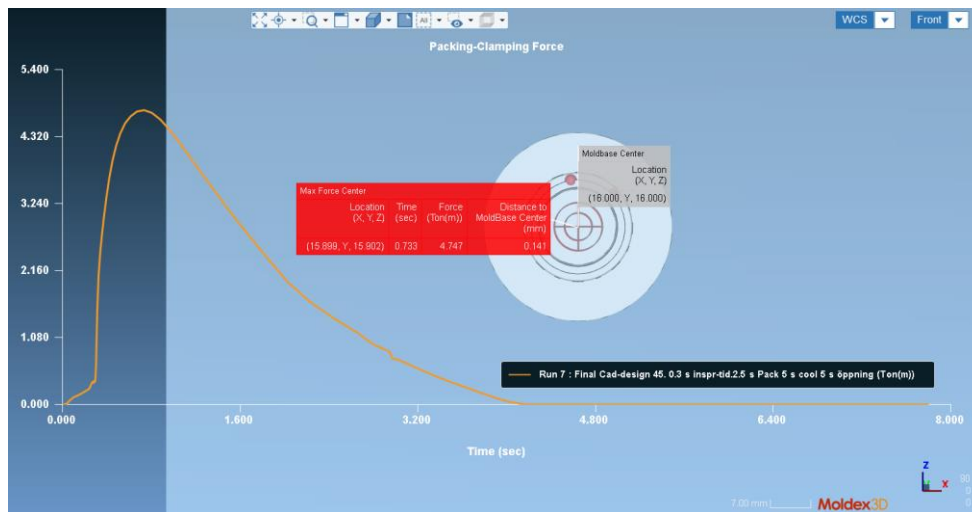




**Figur 6.21: Plastsmältans flöde strax innan sammanflödeslinjen**

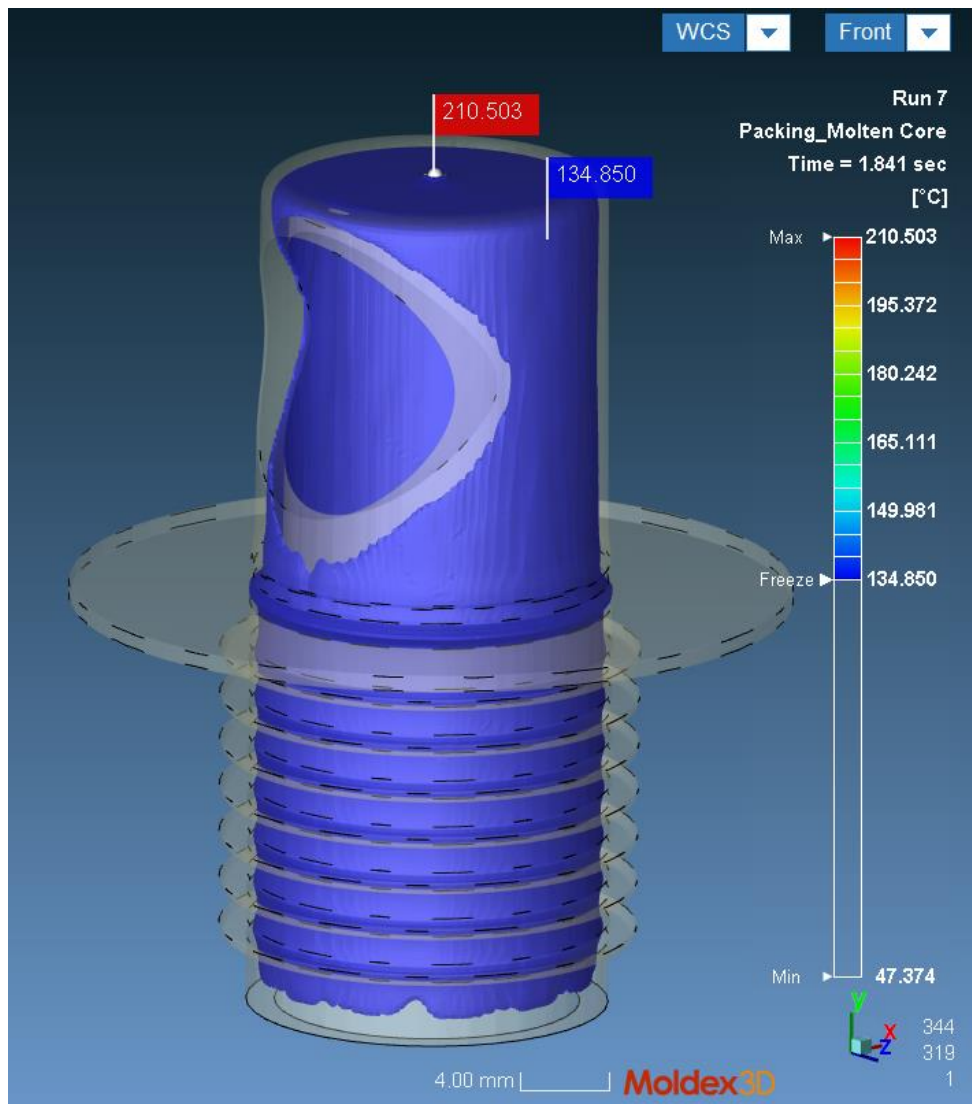
I Figur 6.21 går det att se hur de två smältfronterna möter varandra. Likt Figur 6.20 visar, ökar sammanflytningsvinkeln längst hela sammanflytningslinjen.





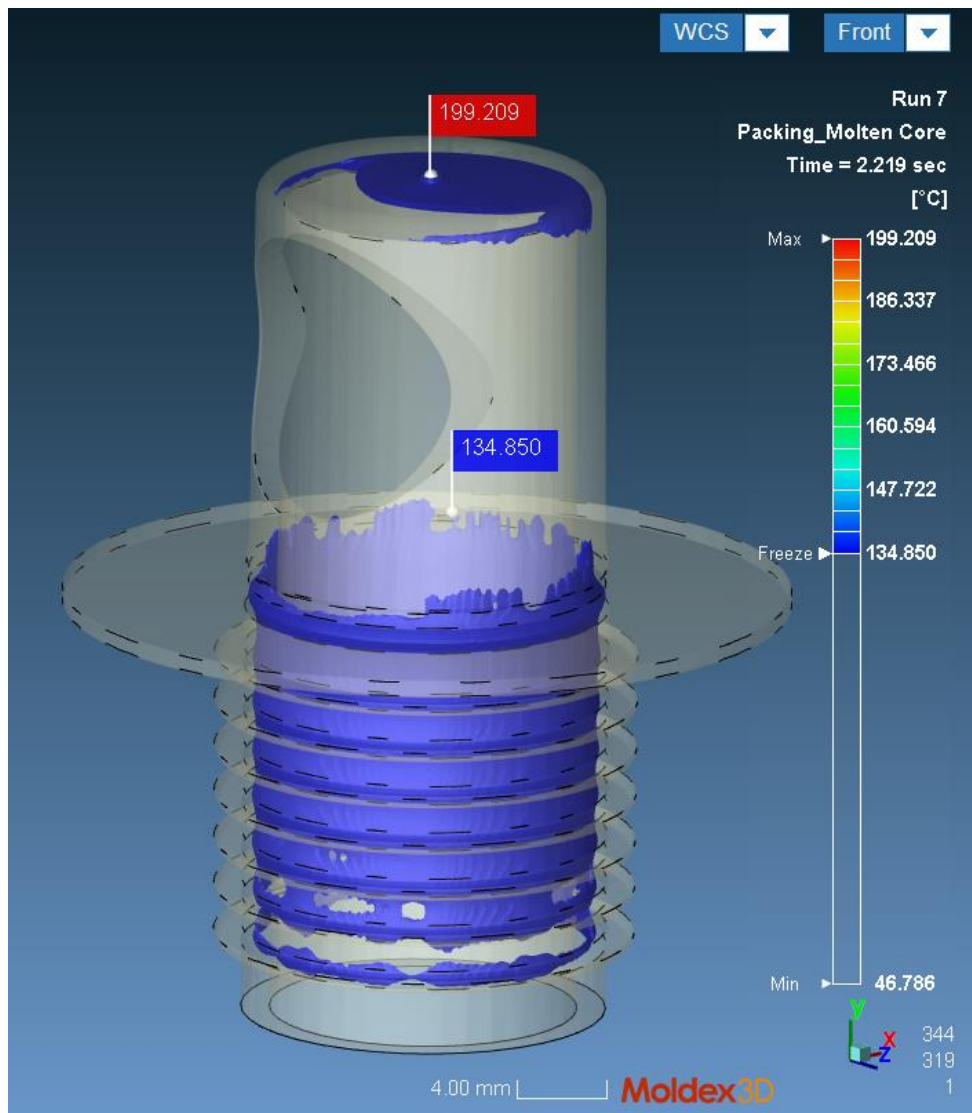
**Figur 6.22: Clamping Force Centroid för den slutgiltiga kroppen**

Clamping Force, det vill säga det tryck som krävs för att hålla ihop verktyget vid formspruteprocessen, uppnår som högst ett värde på 4,75 ton vilket sker 0,73 sekunder in i processcykeln. Detta är ett rimligt värde och grafen i Figur 6.22 speglar det tryckförlopp som illustreras i Figur 2.8 i kapitel 2.3.1.



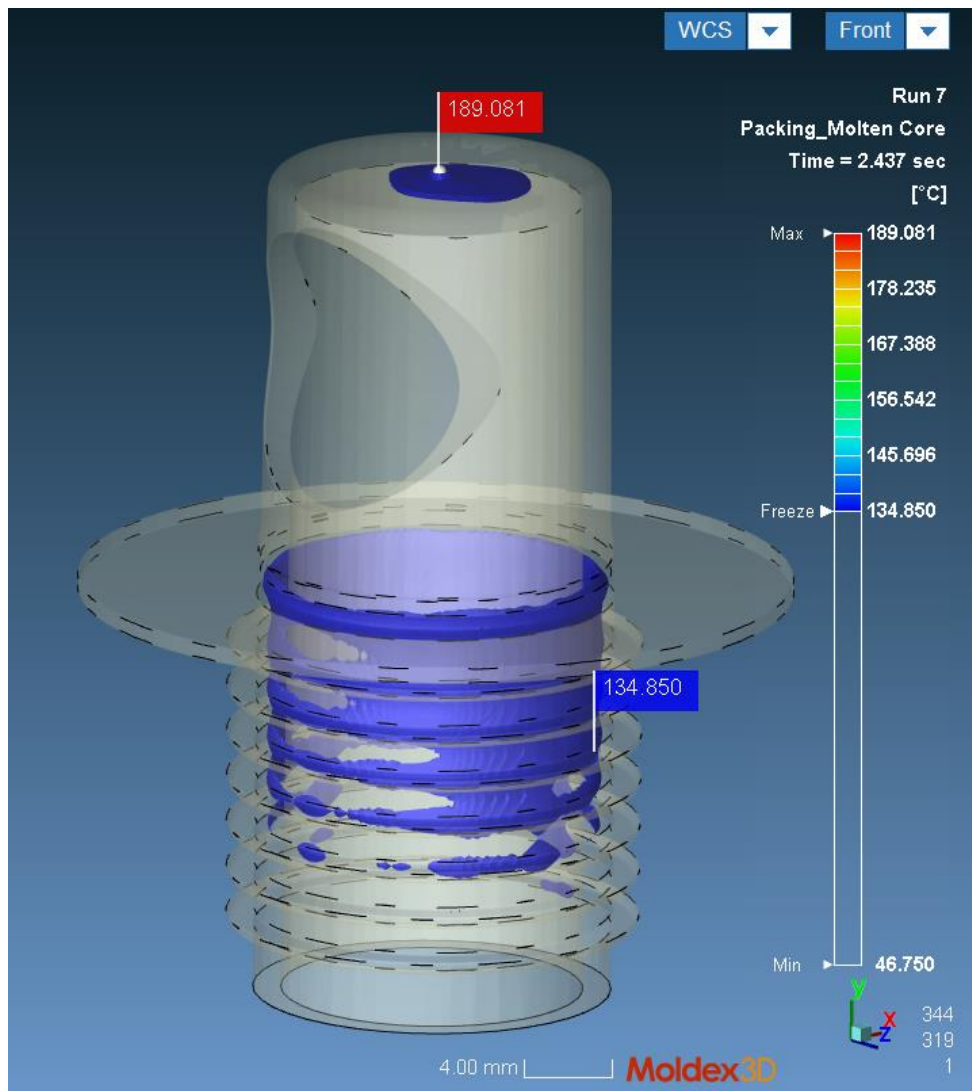
**Figur 6.23: Molten Core för den slutgiltiga kroppen vid 1,8 s (1,5 s packning)**

Molten Core visar, som tidigare nämnts, de delar av detaljen som fortfarande består av smält plast vid en given tidpunkt i formsprutningsprocessen. I Figur 6.23 går det att se att de inre, centrala delarna av detaljen fortfarande är smälta, vilket tillåter fortsatt packning av detaljen. Däremot har alla flänsar stelnat vid denna tidpunkt, 1,8 sekunder in i processen (vilket motsvarar 1,5 sekunder in i packningsprocessen) och flänsarna kan därmed inte packas mera.



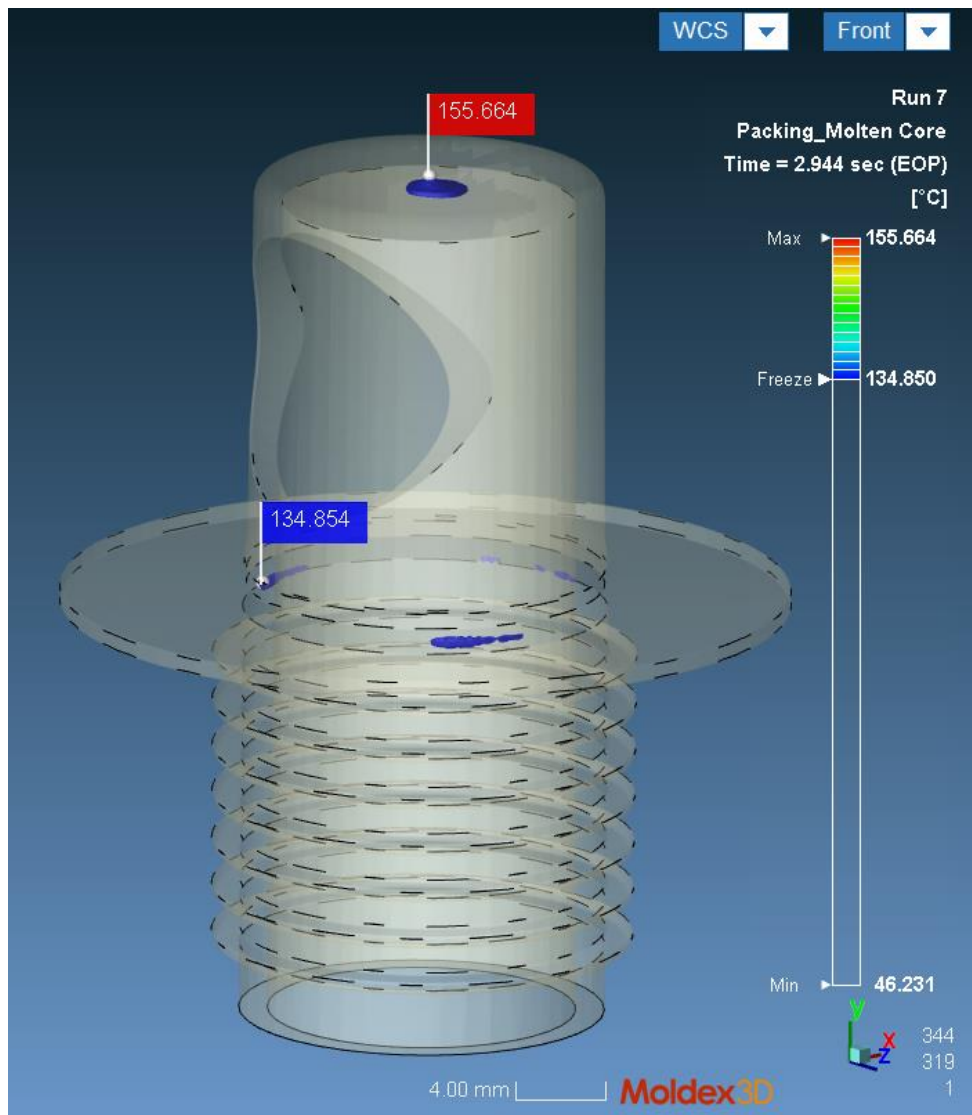
**Figur 6.24: Molten Core för den slutgiltiga kroppen vid 2,2 s (1,9 s packning)**

Figur 6.24 visar den smälta kärnan 0,4 sekunder efter Figur 6.23 i packningsprocessen och vid denna tidpunkt går det att se att majoriteten av detaljen har stelnat. Det kan även noteras att det inte längre finns någon förbindelse av plastsmälta mellan den övre och nedre delen av detaljen. Det är vid den övre delen som ingötet sitter (vid den röda markeringen), det innebär att den enda packningen som sker äger rum lokalt vid den övre delen av detaljen. Det finns därför ingen anledning att fortsätta packningen vid detta läge.



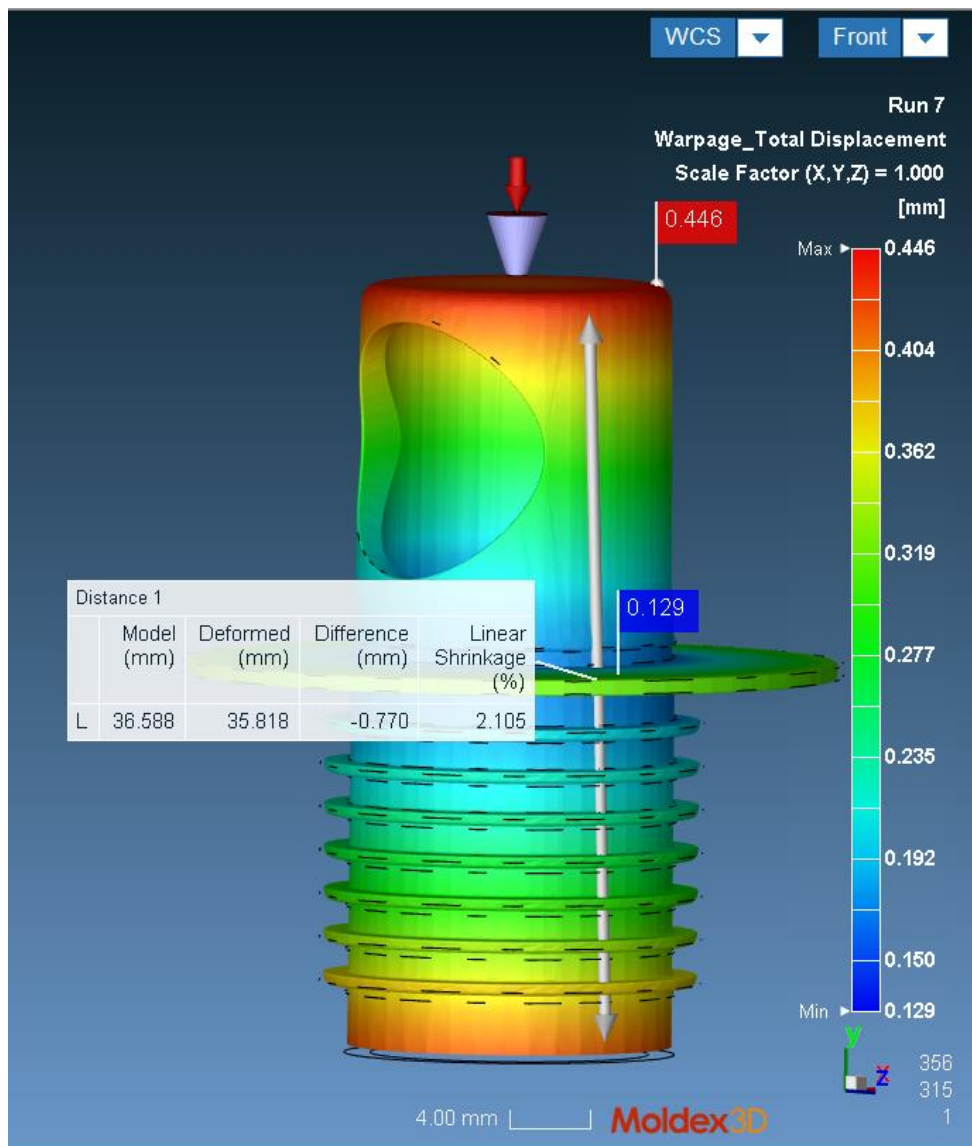
**Figur 6.25: Molten Core för den slutgiltiga kroppen vid 2,4 s (2,1 s packning)**

Precis som i Figur 6.24 visar Figur 6.25 att det inte finns någon anledning att fortsätta packningen då en väldigt stor del av detaljen har stelnat. Likt i Figur 6.24 finns det ingen förbindelse av plastsmälta mellan den övre och nedre delen av detaljen. För att undvika detta hade det varit möjligt att öka vägg tjockleken i förbindelsen för att undvika att dessa områden stelnar vidare.



**Figur 6.26: Molten Core för den slutgiltiga kroppen vid 2,9 s (2,6 s packning)**

I Figur 6.26 är detaljen nästintill helt stelnad, förutom små lokala delar med plastsmälta.



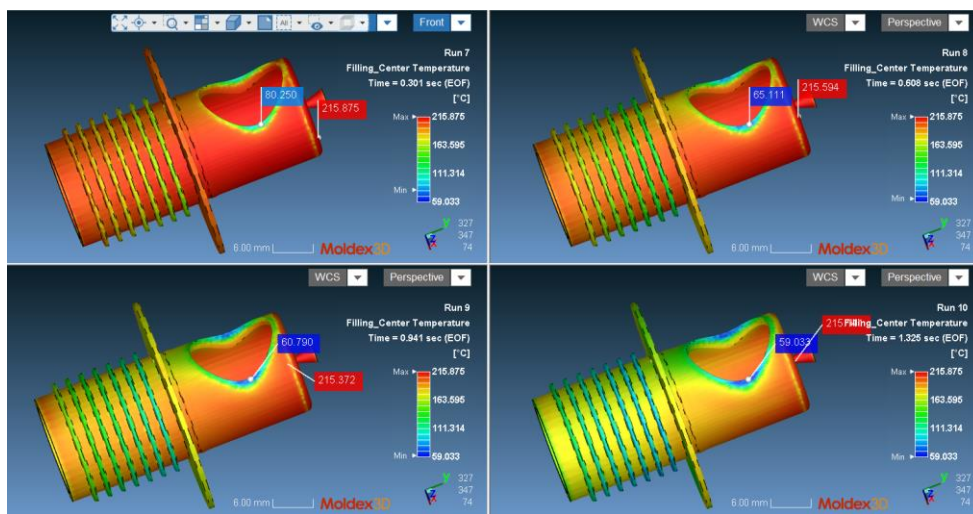
**Figur 6.27: Total förskjutning med linjär krympning för den slutliga detaljen**

Figur 6.27 visar den totala förskjutningen av detaljen till följd av krympning och vridning under kylningsförloppet. Det går att notera ett linjärt krymp på 2,1% med en maximal deformation på 0,45 mm. Att den största deformationen sker på de övre och undre delarna är logiskt, då detaljen böjer sig från mitten och utåt.

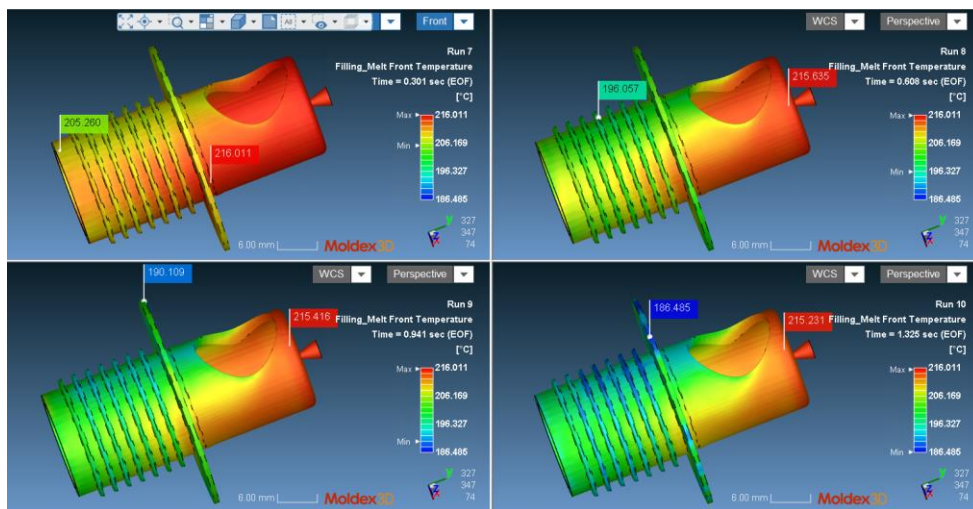


### 6.2.2.2 Resultat från DOE - insprutningstid

Vid jämförelse av resultaten från DoE:n på kroppen, som beskrevs i kapitel 5.2.2 där insprutningstiden varierades mellan detaljerna, uppträder en mängd intressanta resultat att studera. I figurerna nedan representerar Run 7 (bilden uppe till vänster i Figur 6.28) insprutningstiden 0,3 sekunder, Run 8 (bilden uppe till höger i Figur 6.28) insprutningstiden 0,6 sekunder, Run 9 (bilden nere till vänster i Figur 6.28) insprutningstiden 0,9 sekunder och Run 10 (bilden nere till höger i Figur 6.28) insprutningstiden 1,2 sekunder.

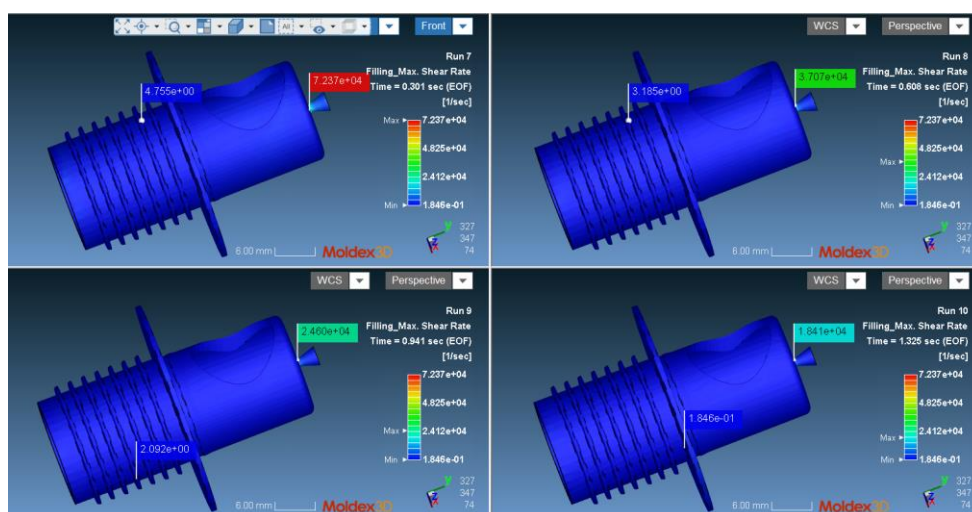


Figur 6.28: Resultat med den centrala temperaturen (°C) från DoE:n



Figur 6.29: Resultat med smältfrontstemperaturen (°C) från DoE:n

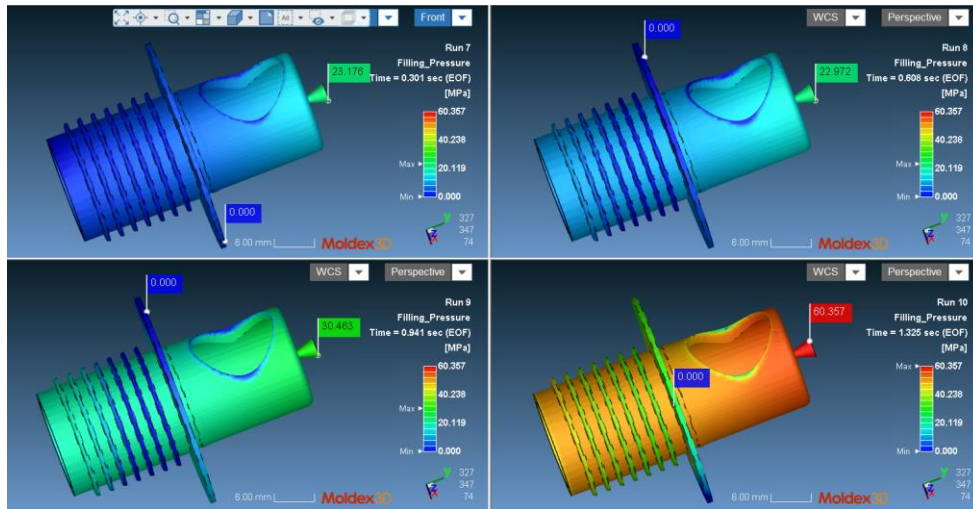
Figur 6.28 och Figur 6.29 visar temperaturerna av plastsmältan vid ”End of Filling” (EOF). Det går att notera att den lägsta temperaturen i detaljerna sjunker i takt med att insprutningstiden ökar, vilket är rimligt då plastsmältan börjar svalna av i samma sekund den fyller kaviteten. För körningarna med insprutningstid på 0,9 och 1,2 sekunder är den lägsta temperaturen långt under rekommenderad smälta-temperatur (200 grader enligt tillverkaranvisningar) vilket kan leda till svårigheter med att fylla upp tunnare delar på detaljen som till exempel flänsarna.



Figur 6.30: Maximal skjuvhastighet (1/s) från DoE: n

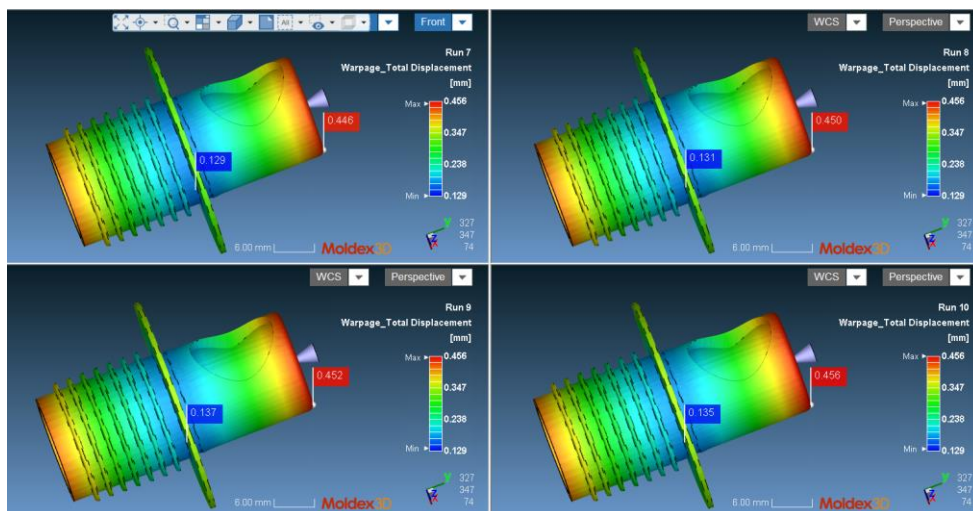
Den maximala skjuvhastigheten beskriver den hastighetsförändring som sker när plastsmältan fyller kavitetens insida och kommer i kontakt med kavitetens väggar, se Figur 6.30. Detta resultat är av intresse då en för hög skjuvhastighet kan skada plastmaterialet och leda till dåliga eller defekta detaljer. Vilken maximal skjuvhastighet detta material kan klara är okänt då det inte fanns materialdata för detta värde, men HDPE klarar i regel av skjuvhastighet upp till 80 000 1/s enligt Nolato. Det sker en ökad skjuvhastighet i takt med att insprutningstiden förkortas, då materialet sprutas in snabbare i kaviteten, men ingen av körningarna i DoE:n hade en skjuvhastighet högre än den kritiska gränsen på 80 000 1/s.





**Figur 6.31: Fyllnadstrycket (MPa) från DoE:n**

Fyllnadstrycket kan ge en tydlig indikation på när detaljen är tillräckligt fylld vilket kan översättas till en lämplig insprutningstid. I Figur 6.31 går det att se att trycket ökar kraftigt vid Run 10 (insprutningstid 1,2 sekunder) vilket visar att insprutningstiden är för lång.

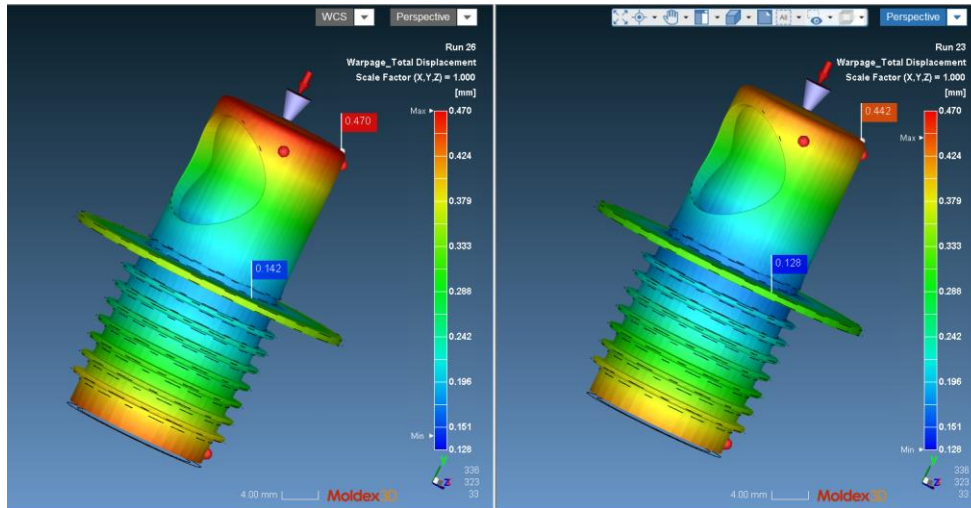


**Figur 6.32: Totala förskjutningen (mm) från DoE:n**

Vid jämförelse av den totala förskjutningen för de fyra olika körningarna, går det att notera att det inte uppstår någon avsevärd skillnad på den totala förskjutningen som sker till följd av en längre insprutningstid.

### 6.2.2.3 Resultat av DOE – optimerade procesinställningar

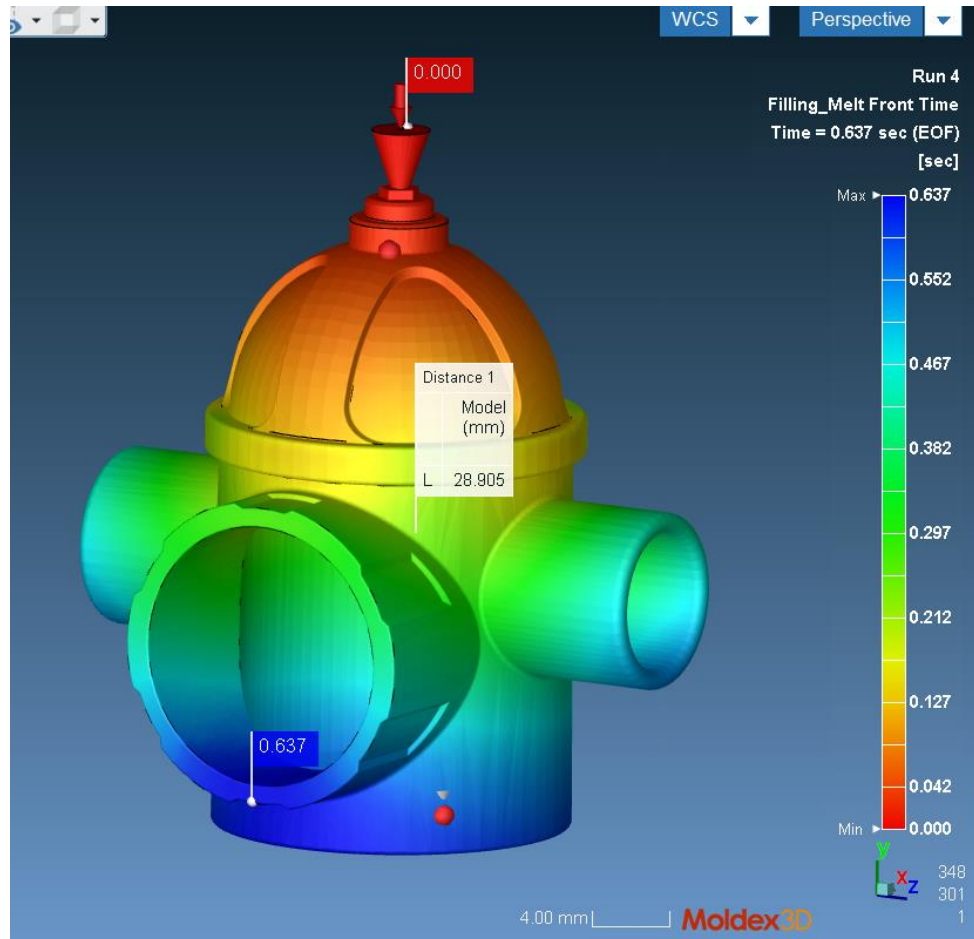
Efter att DoE:n för processoptimering hade körts plockades två extremfall ut: Ett minimumfall där krympningen är som störst (minst detalj) och ett maximalfall där krympningen är som lägst (störst detalj).



**Figur 6.33: Jämförelse av minimumfallet (vänster) och maximalfallet (höger) för den totala förskjutningen (mm)**

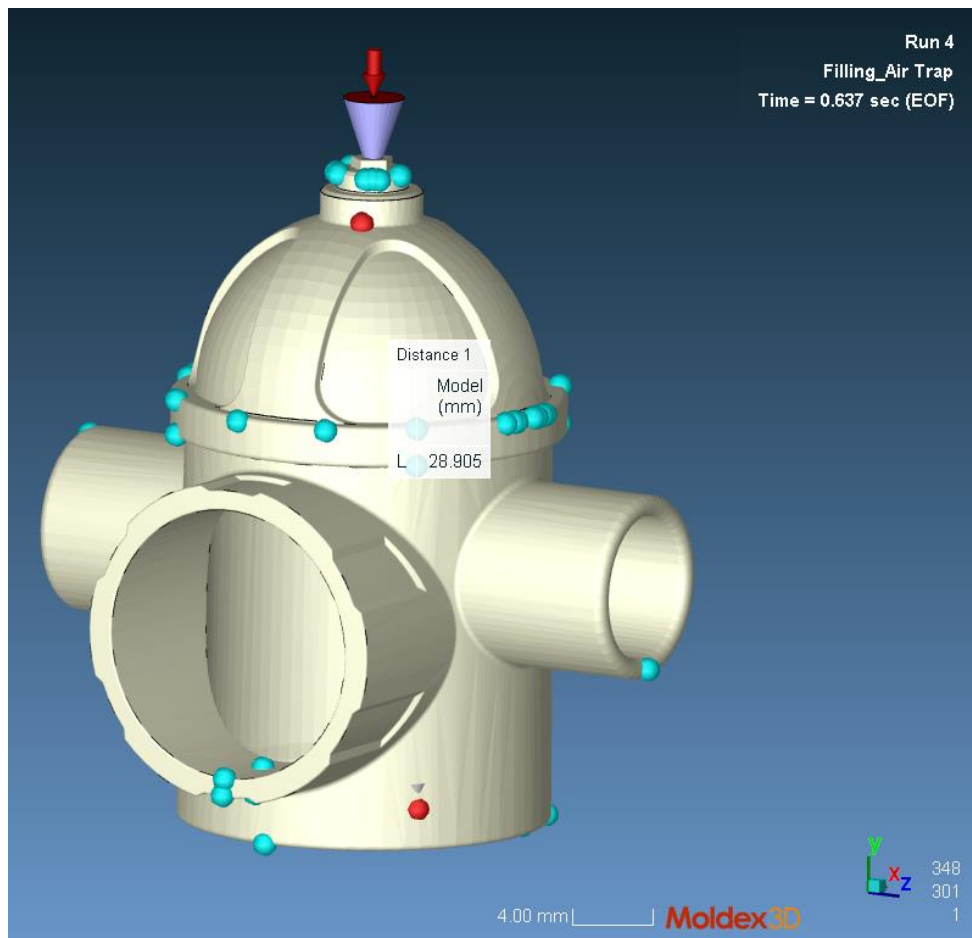
Vid jämförelse av min och max i Figur 6.33 går det att se att maximalfallet har en totala förskjutning med både lägre max-och minvärde än minimumfallet. Detta ger en indikation att även krympningen kommer vara mindre för maximalfallet, vilket det visar sig vara när krympningen linjärt undersöks på modellerna för två godtyckliga sträckor. Då visar minimumfallet ett linjärt krymp på 2,13 % för sträcka 1 och 2,22 % för sträcka 2. För maximalfallet uppkommer ett linjärt krymp på 1,94 % för sträcka 1 och 2,11 % för sträcka 2.

#### 6.2.2.4 Resultat ventil



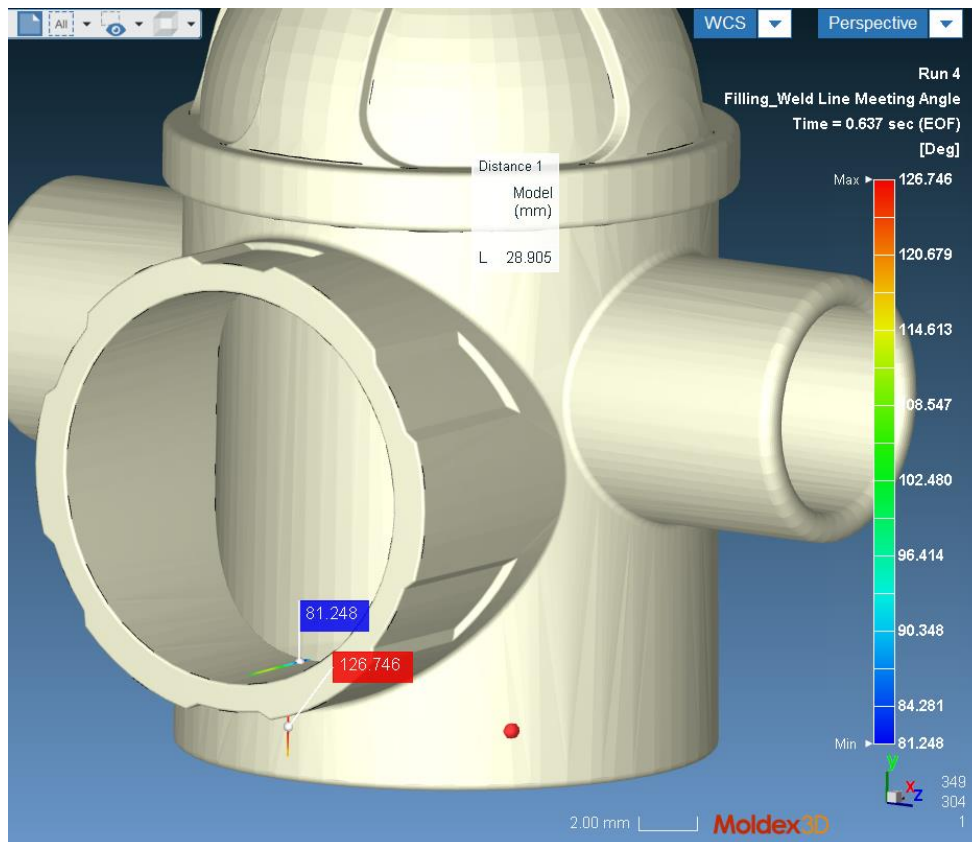
**Figur 6.34: Melt Front Time (s) för den slutgiltiga ventilen**

Enligt Figur 6.34 fylls ventil-detaljen med plastsmälta på 0,637 sekunder, vilket är 0,037 sekunder mer än den förinställda tiden på 0,6 sekunder. Detta beror troligtvis på att den förinställda fylltiden är lite för kort men det är en marginell skillnad så det har inte någon större påverkan på andra resultat.



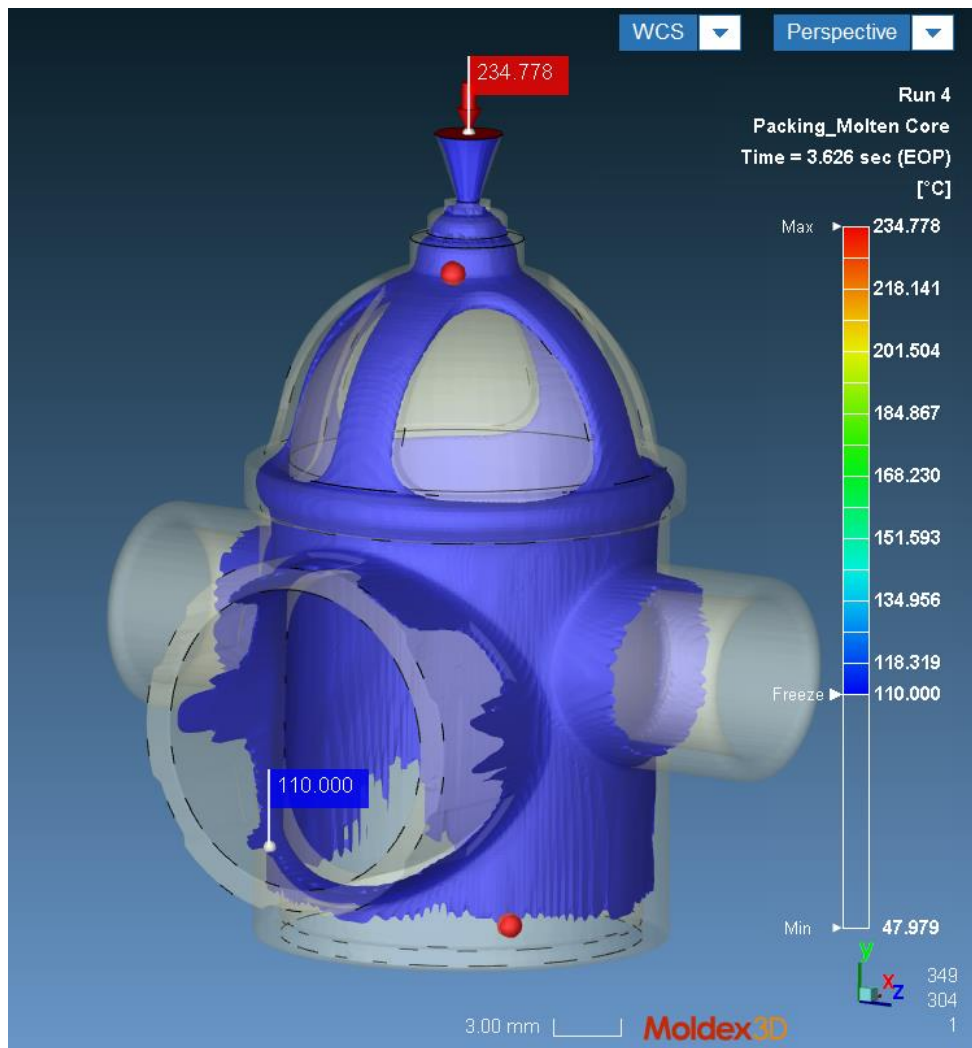
**Figur 6.35: Air Trap för den slutgiltiga ventilen**

I Figur 6.35, likt för motsvarande resultat för kropp-komponenten, ansamlas luftfickorna vid kanter och hörn på detaljen. Att luftfickorna uppstår vid hörn och kanter är förväntat och medför inga problem då de kan avledas med luftningskanaler. Hade luftfickor uppstått mitt på plana ytor i detaljen hade designen behövt justeras eller hade verktygskonstruktionen behövt förändras för att undvika eventuella defekter i den färdiga produkten.



**Figur 6.36: Sammanflytningslinje med sammanflytningsvinkel för den slutgiltiga ventilen**

Figur 6.36 visar ett resultat som liknar det för kroppen i Figur 6.20, med en sammanflytningslinje som uppstår strax under ett cirkulärt hål i detaljen. Även denna sammanflytningslinjen medför inga problem för konstruktionen den undviker att smältfronterna möts rakt på varandra. Precis som i resultatet för kroppen, med en maximal sammanflytningsvinkel på 126,7 grader och en minimal på 81,2 grader.



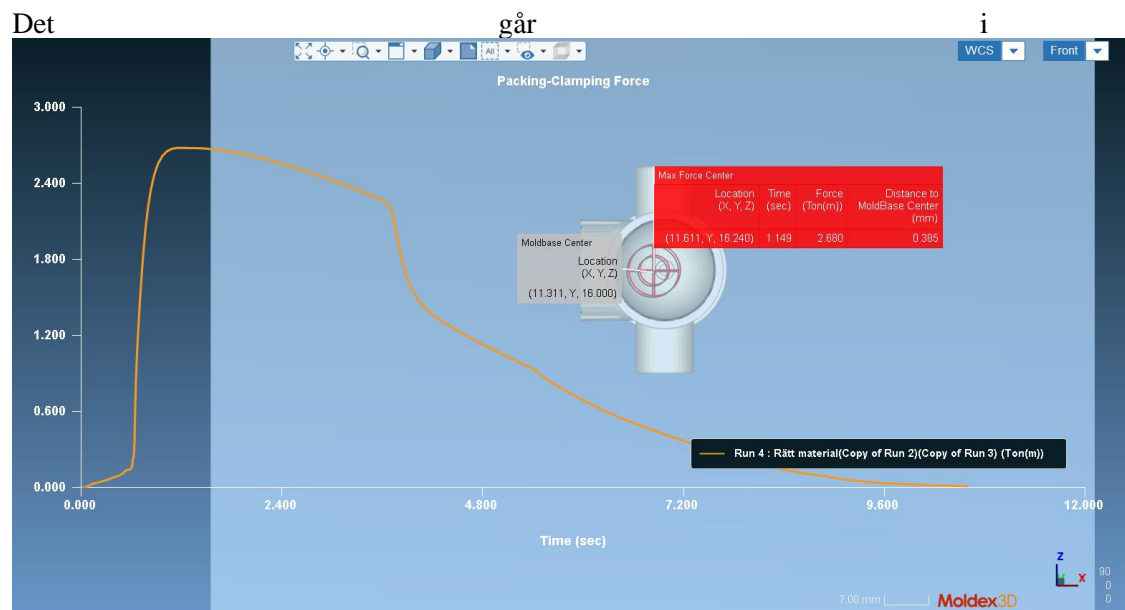
**Figur 6.37: Molten Core för den slutgiltiga ventilen vid "End of Pressure" (EOP)**

Vid EOP kan det noteras att detaljen fortfarande till stor del består av smälta, vilket innebär att detaljen kan packas effektivt under hela packningsförloppet (till skillnad från samma resultat hos kroppen). Detta beror på geometrin på toppen av ventilen, där geometrin för att få vinkorkens karaktäristiska utseende kan fungera som fyra kanaler med lite tjockare material som får all plastsmälta att packas, se Figur 6.37.

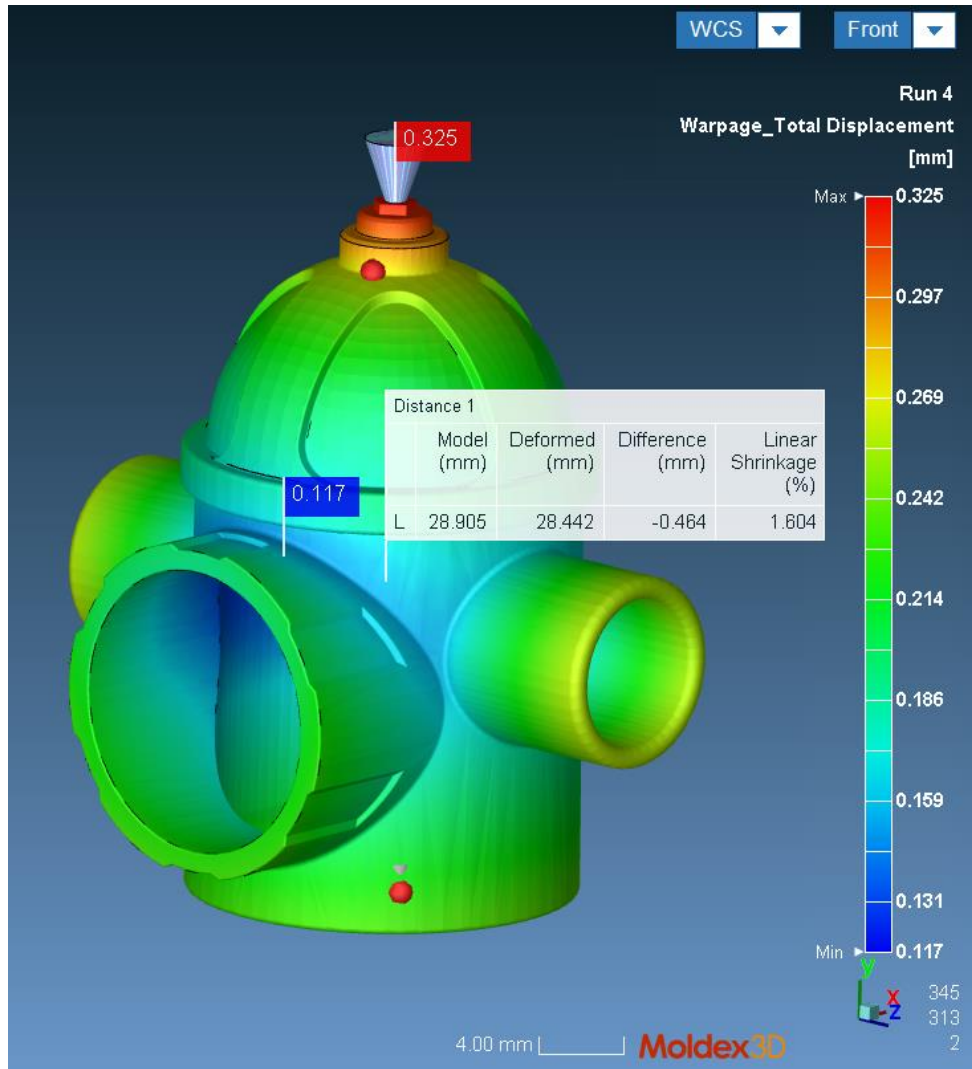




Figur 6.38: Clamping Force Centroid för den slutgiltiga ventilen



Figur 6.38 att notera ett tryckförfarande som stämmer överens med den som beskrevs i Figur 2.4. Det går att notera ett maximalt tryck på 2,68 ton som uppstår 1,15 sekunder in i processcykeln, det vill säga under packningen.



**Figur 6.39: Total förskjutning med linjär krympning för den slutliga detaljen**

Vid undersökning av ventilens totala förskjutning noteras en maximal förskjutning på 0,325 mm, som äger rum högst uppe på ventilen och en minimal förskjutning på 0,117 mm inne mer centralt i ventilen. Det har även uppstått ett linjärt krymp på 1,60%.



## 6.3 Mått-och toleransanalys

### 6.3.1 Fastställande av toleranser genom konstruktionsanalys

**Tabell 6.2: Monteringsrörelsen för båda extremfallen**

<i>Extremfall</i>	<i>Töjning ventil montering</i>	<i>Töjning kroppen montering</i>	<i>Monteringskraft</i>
1	3,39 %	3,9 %	48,31 N
2	1,22 %	1,16 %	8,86 N

Det är stor skillnad mellan monteringskraften för de båda extremfallen, Tabell 6.2. Endast monteringskraften för extremfall 2 ligger inom målspecifikation. Monteringskraften för extremfall 1 på 48,31 N är utanför målspecifikationen, men är fortfarande möjlig att montera och får därför ses som acceptabel med tanke på hur ovanligt det är att alla måtten skulle vara som i extremfallet. Töjningen för båda är lägre än 5,5 % vilket var satt som ett krav.

**Tabell 6.3: Avmonteringsrörelsen för båda extremfallen**

<i>Extremfall</i>	<i>Töjning ventil avmontering</i>	<i>Töjning kroppen avmontering</i>	<i>Avmonteringskraft</i>
1	2,99 %	3,09 %	103,38 N
2	1,38 %	1,32 %	18,18 N

Likt monteringsrörelsen är det stor skillnad mellan avmonteringskrafterna, se Tabell 6.3. Båda avmonteringskrafterna är dock acceptabla då kraften i extremfall 2 är mer än tyngdkraften från en 1,5 liters flaska. Det är en hård gräns då det är viktigt att ifall någon skulle hålla flaskan enbart i vinkorken, att vinkorken inte släpper från flaskan.

**Tabell 6.4: Montering- och Avmonteringsrörelsen i flaskan för båda extremfallen**

<i>Extremfall</i>	<i>Töjning ventil montering</i>	<i>Monteringskraft</i>	<i>Töjning kroppen avmontering</i>	<i>Avmonterings- kraft</i>
1	3,43 %	76,037 N	4,05 %	99,91 N
2	1,1 %	13,391 N	1,09 %	18,13 N

Likt de båda två tidigare fallen är det en stor skillnad mellan montering- och avmonteringskrafterna, se Tabell 6.4. Likt det tidigare fallet i Tabell 6.3 är dock

båda extremfallen acceptabla i Tabell 6.3 då avmonteringskraften i extremfall 2 är mer än tyngdkraften från en 1,5 liters flaska. Det finns inte på samma sätt en övre gräns för vad som är en acceptabel monterings- och avmonteringskraft då användaren när kraften blir för hög, inte kommer att trycka ner vinkorken mer i flaskan.

### 6.3.2 Resultat från mätningen

Tabell 6.4 är en sammanställning av de resultat som mått-och toleransanalysen gav. De mått som har fått stämpeln "GOOD" i Check-kolumnerna ligger med god marginal inom tidigare angivna toleranser, de som har fått "OK" ligger nära de angivna toleranserna fast inom dem och de med "BAD" ligger utanför toleranserna. Det går att notera att den nominella designen är inom toleranserna med en god marginal. Därtill går det att notera att även det maximalfallet ger goda toleranser som för vissa mått till och med är bättre än det nominella utfallet. Däremot ligger det minimumfallet utanför toleranserna för mått J som ligger 0,00654 mm utanför den undre toleransen satt för det måttet.

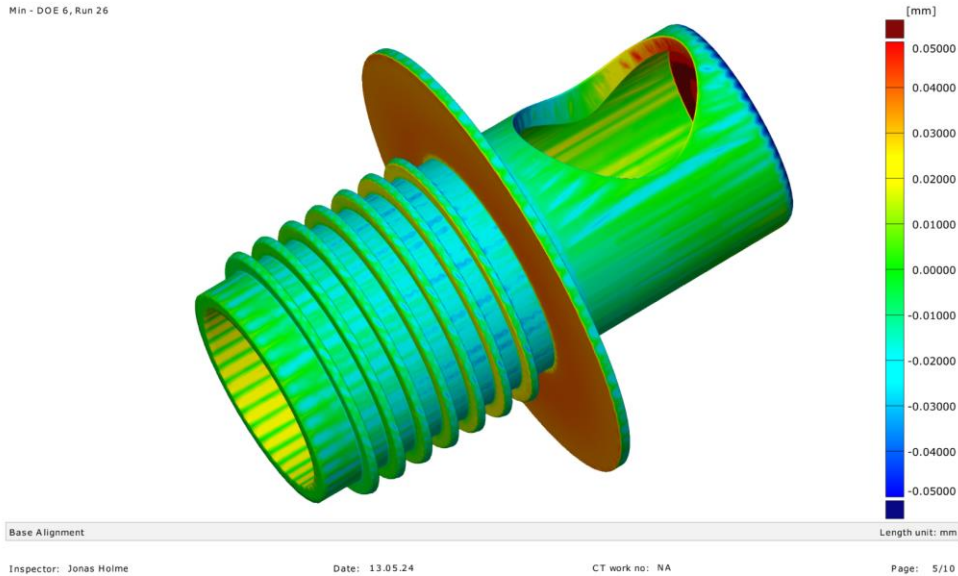
Utöver detta kan det även noteras att mått G och K har genomgående bra resultat för alla utfall, vilket skulle kunna indikera på en robust design vid just de områdena på detaljen.

Tabell 6.4: Mätresultatet från mått-och toleransanalysen.

Dimension	Property	Nominal	Tol -	Tol +	Nominal case			Min case			Max case		
					Actual	Deviation	Check	Actual	Deviation	Check	Actual	Deviation	Check
E	Ø	15,86919	0,03500	0,03500	15,86282	-0,00637	GOOD	15,83501	-0,03418	OK	15,86436	-0,00484	GOOD
F	Ø	15,66966	0,03500	0,03500	15,66061	-0,00904	GOOD	15,63504	-0,03462	OK	15,66328	-0,00638	GOOD
G	Ø	15,37631	0,06120	0,06120	15,38919	+0,01289	GOOD	15,36967	-0,00664	GOOD	15,39125	+0,01494	GOOD
J	Ø	18,58726	0,03500	0,03500	18,57263	-0,01463	GOOD	18,54572	-0,04154	BAD	18,57499	-0,01226	GOOD
K	○Ø	0,00000	0,00000	0,10000	0,01673	+0,01673	GOOD	0,02049	+0,02049	GOOD	0,02027	+0,02027	GOOD

## CAD Deviation

Min - DOE 6, Run 26

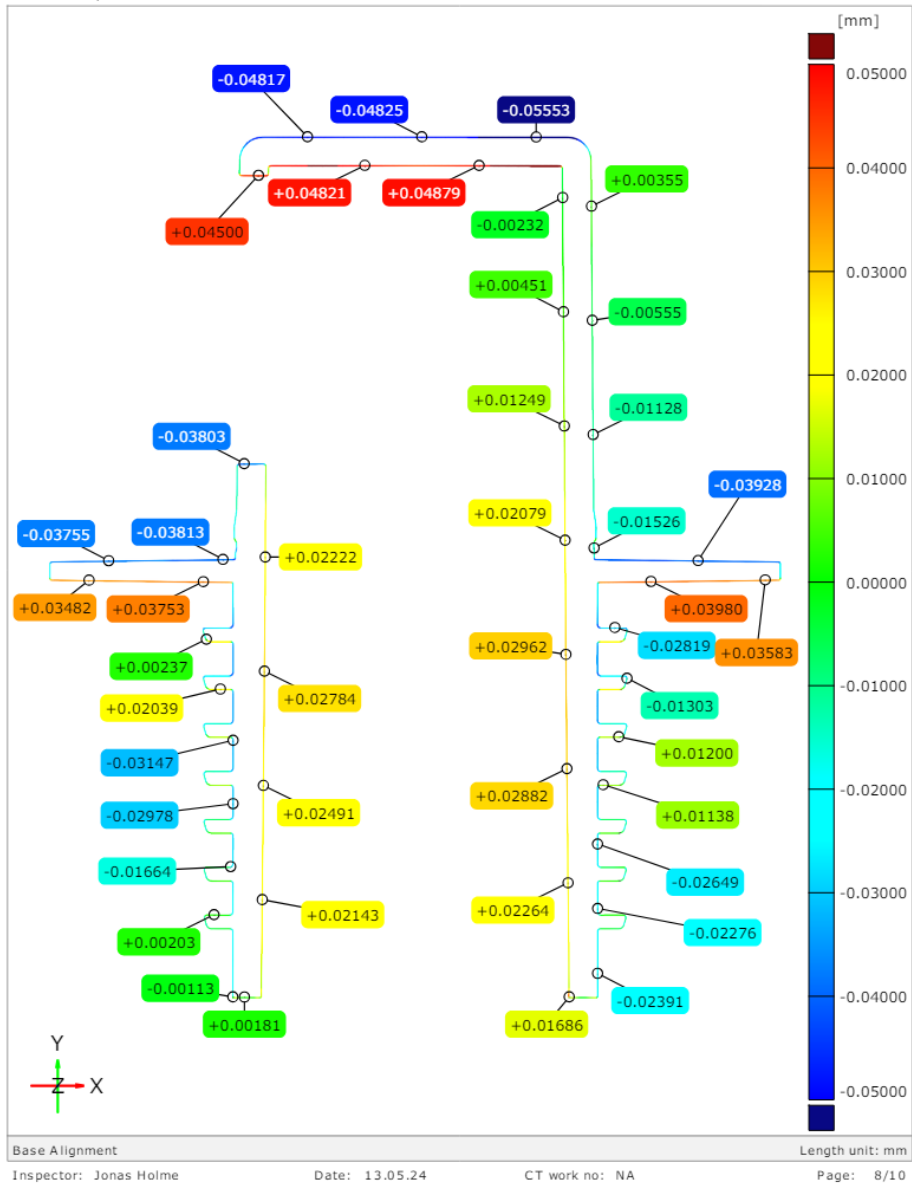


**Figur 6.40: Avvikelsen mellan nominell CAD och deformerad modell för minimumfallet**

Resultatet av mätningen för minimumfallet, som presenteras i Figur 6.40 och Figur 6.41 visar avvikelser från kontrollmodellen, särskilt runt områdena vid den stora flänsen samt toppen av detaljen. Detta blir särskilt uppenbart vid granskning av Figur 6.41, där detaljens största avvikelser är  $+0,04879$  respektive  $-0,0553$  mm. Utöver dessa extremområden visar detaljen mindre avvikelser på insidan av cylindern och kanterna av flänsarna.

Section inspection

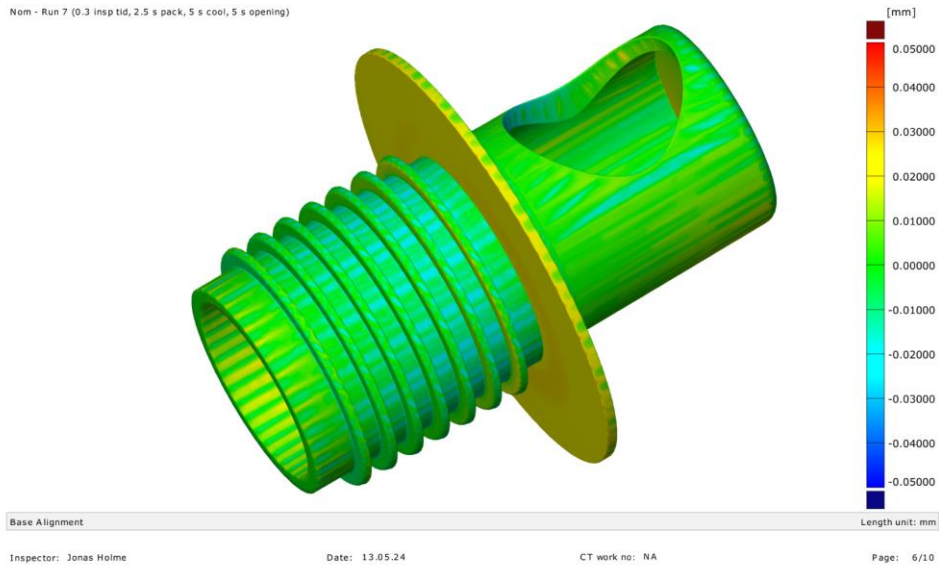
Min - DOE 6, Run 26



Figur 6.41: Tvärsnitt för avviken mellan nominell CAD och deformerad modell för minimumfallet

## CAD Deviation

Nom - Run 7 (0.3 insp tid, 2.5 s pack, 5 s cool, 5 s opening)

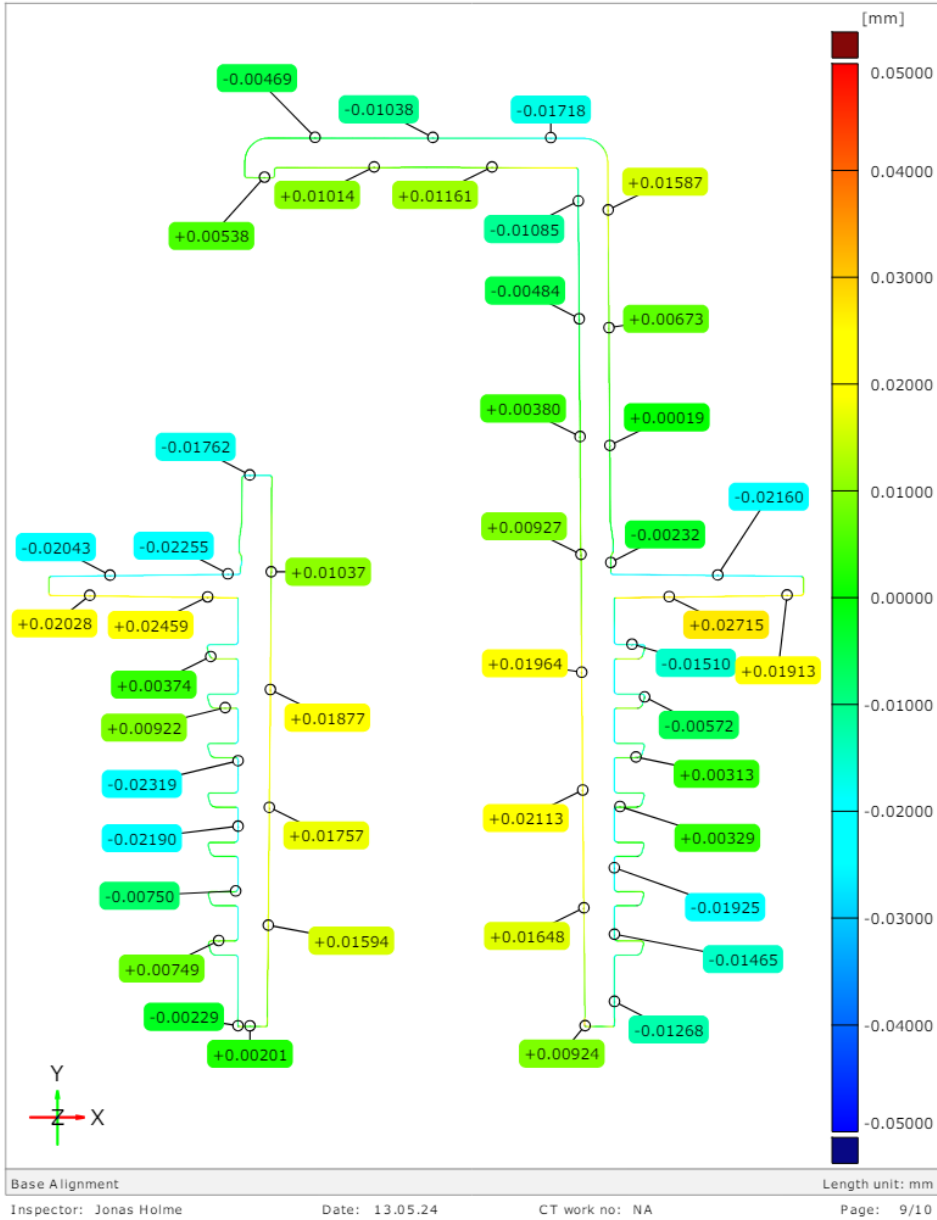


**Figur 6.42: Avvikelsen mellan nominell CAD och deformerad modell för det nominella utfallet**

I figurerna för det nominella utfallet (Figur 6.42 och Figur 6.43) är resultat bättre jämfört med minimumfallet. Här är de största avvikelserna på +0,02715 och -0,02319 mm. Det är nästan hälften av den avvikelse som uppstod i minimumfallet. Även här är avvikelserna särskilt stora runt den stora flänsen och på insidan av detaljen.

### Section inspection

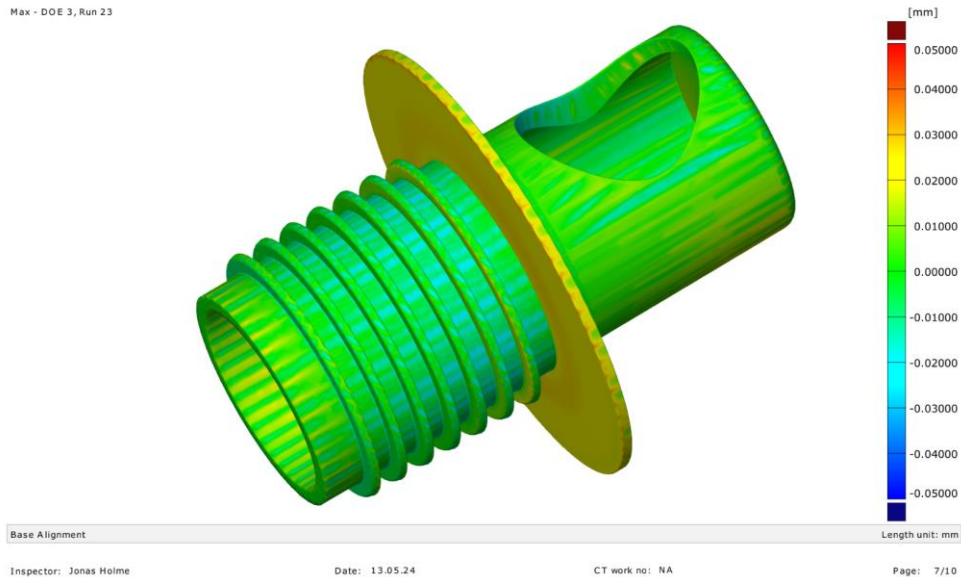
Nom - Run 7 (0.3 Insp tid, 2.5 s pack, 5 s cool, 5 s opening)



Figur 6.43: Tvärsnitt för avvikelser mellan nominell CAD och deformerad modell för det nominella utfallet

## CAD Deviation

Max - DOE 3, Run 23



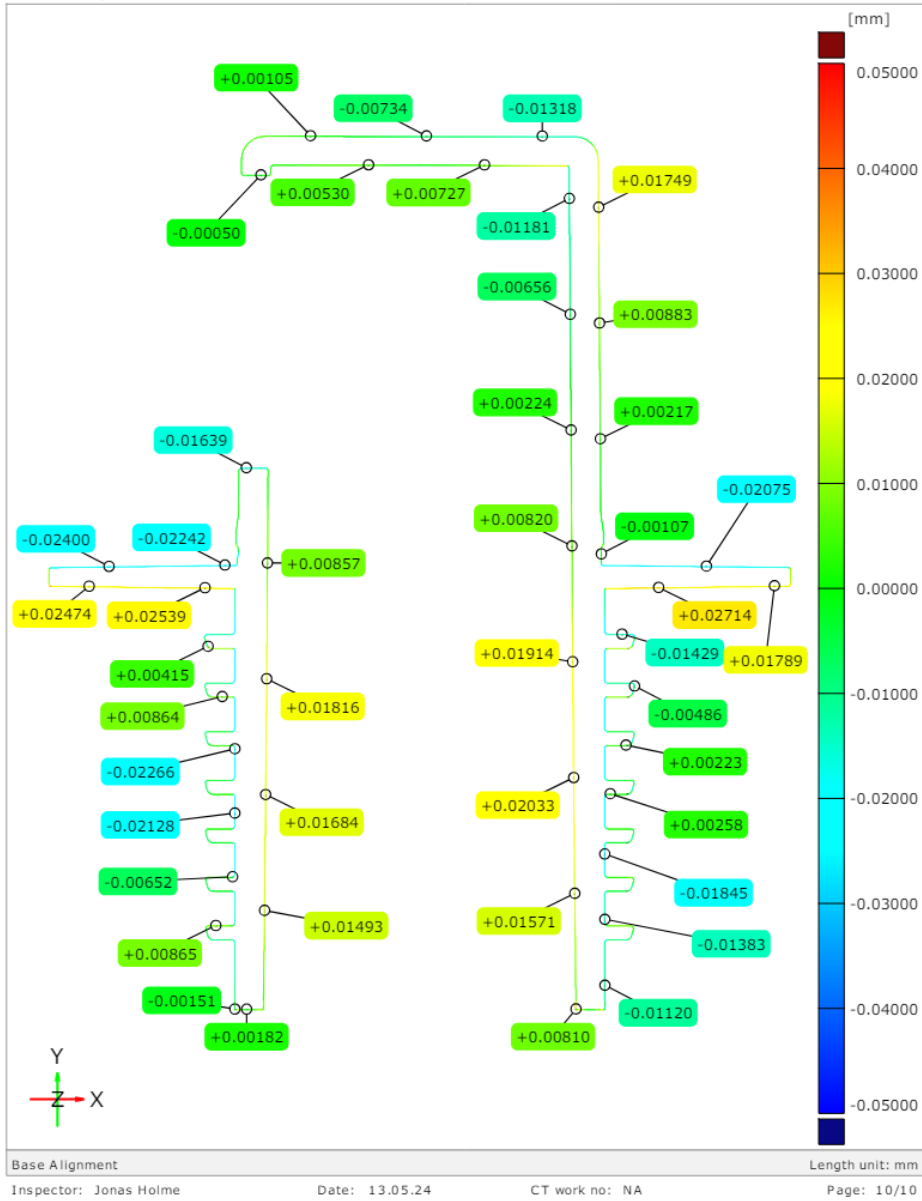
**Figur 6.44: Avvikelsen mellan nominell CAD och deformerad modell för maximalfallet**

Resultatet i Figur 6.44 och Figur 6.45 är nästan direkt jämförbart med resultatet för det nominella utfallet. Vid jämförelse av figurerna för respektive utfall är de största avvikelserna för maximalfallet (+0,02714 och -0,02400 mm) nästintill identiskt med det nominella utfallet (+0,02715 och -0,02319 mm). Även här äger de största avvikelserna rum runt den stora flänsen och insidan av detaljen.



Section inspection

Max - DOE 3, Run 23



**Figur 6.45: Tvärsnitt för avviken mellan nominell CAD och deformerad modell för maximalfallet**

# 7 Diskussion

Att ta fram och utveckla en produkt, även om den till synes enkel sådan, har inneburit flertalet oväntade utmaningar och motgångar. Trots det har användandet av simuleringsmjukvaran resulterat i åtskilliga besparingar i tid, men framför allt resurser, som annars hade varit oundvikliga i konventionell produktutveckling. Nedan lista reflektioner kring de för- och nackdelar som den virtuella produktutvecklingen har medfört, hur den iterativa arbetsgången påverkat projektet, samt tankar om resultatet och åtgärder inför framtida och liknande projekt.

## 7.1 Virtuella produktutveckling

### 7.1.1 Fördelar

Den virtuella produktutvecklingsmetodiken har, som tidigare nämnts, inneburit stora besparingar i alternativa kostnader. För att kunna tillverka och testa en plastprodukt för prototyp tester krävs, som beskrevs i kapitel 2.3.1.2, en formsprutmaskin och ett verktyg. Maskinens kostnad behövs inte tas i beaktande då det är ett krav för att tillverka plastdetaljer överhuvudtaget, men verktyget är unikt för varje detalj och behöver tillverkas på nytt vid varje större förändring. Dessa verktyg kan kosta flera hundratusentals kronor att tillverka enligt Nolato själva, så fördelarna med att inte behöva tillverka flera verktyg bara för att utföra tester på en enskild produkt är uppenbara. Bara genom att undvika verktygskostnaderna för flera iterationer av prototyper är det möjligt att minska kostnaderna. Detta argument stärks av Nolato, som uppskattar att användandet av denna sorts produktutveckling kan bespara tillverkare upp emot 30–40% i verktygskostnader, sett till hur det historiskt sett har gått för dem.

Dessutom elimineras materialåtgången kopplat till prototyputveckling nästan helt och hållet. För att kunna producera en detalj utan avvikelser i individuella egenskaper krävs flera dussintals processcyklar, vilket är nödvändigt för att kunna göra kvalitetskontroller på ett konsekvent sätt. Genom att i stället göra de löpande kvalitetskontrollerna virtuellt är därmed både energin som krävs för drift och plastmaterialet som hade gått åt inbesparade. På det sättet går det att spara på resurser och den minskade förbrukningen leder även till minskad klimat- och miljöpåverkan.

En tredje fördel med virtuell produktutveckling är tidseffektivisering. För att tillverka och testa en fysisk prototyp så krävs det anställda och arbetstid, med personal som kan stå vid maskinen och personal som kan utföra tester på detaljerna. Genom att utnyttja beräkningskraften i moderna datorer kan dessa tester utföras på en bråkdel av tiden, helt utan mänsklig inblandning (förutom vid setup) och testerna kan även köras över obekväma tider så som nätter och helger. Detta frigör arbetskaper och minskar på utvecklingstiden drastiskt. Nolato själva stärker även detta argument, då de uppskattar en tidsbesparing på ungefär 10 veckor för ett genomsnittligt projekt, med potential till ännu större tidsbesparingar vid ökad komplexitet av produkten.

En ytterligare fördel med det rigorösa simuleringsarbetet inom virtuell produktutveckling är att det ger en kontinuerlig uppdatering om konstruktionens förmåga att hantera både belastnings- och tillverkningsmässiga påfrestningar. Det skapar en god förståelse för konstruktionens beteende och begränsningar och den förståelsen kan sedan nyttjas för att förhindra framtida problem kopplade till detaljen. Ifall ett konstruktionsfel upptäcks, en spänningskoncentration eller ett område som krymper och skevar, går det att arbeta proaktivt för att förhindra att problemet någonsin uppstår i det verkliga livet. Att stoppa ett problem innan det gör sig till känna och ännu bättre: innan problemet uppstår hos en kund, kan bespara en stor mängd tid och pengar.

### 7.1.2 Nackdelar

Även om fördelarna med virtuell produktutveckling är många, så har flera nackdelar med denna metodik uppmärksammats under projektets gång. Den första nackdelen är att det, i vår åsikt, inte går att göra produktutvecklingsprocessen 100% virtuell. Det går absolut att göra det till en hög grad, vilket detta examensarbete är ett exempel på, men förr eller senare uppstår ett stort behov av att ha en fysisk produkt i handen. Det skapar en handfast upplevelse av produkten som inte går att efterlikna med en 3D-modell på en datorskärm. Dessutom är behovet av att testa materialet innan produktionen påbörjas oundvikligt, då materialegenskaperna kan variera lite från batch till batch. I framtiden kanske detta kan rådas bot på med mer avancerade analys- och simuleringsprogram, men känslan av att hålla produkten i handen går inte att ersätta oavsett hur långt mjukvaran utvecklas.

En annan nackdel med att förlita sig så mycket på simuleringsmjukvara är att den, utifrån vår erfarenhet, tenderar att vara ganska komplex. Detta innebär att det behövs en relativt gedigen utbildning för att skapa sig förutsättningarna för goda simuleringar med pålitliga resultat. Det kräver långa utbildningar och stora investeringar i sin personal. Vid bristande kunskap eller erfarenhet vid användning av simuleringsprogrammen finns risken att resultat blir bristfälliga eller missvisande. Detta kan leda till man genomgår hela produktutvecklingsprocessen

utan att upptäcka systematiska fel. Det kan i sin tur kan resultera i defekta produkter och dyra lösningar.

Förutom kostnader för utbildning behöver även mjukvarornas licenskostnader beaktas. Även om det är vår övertygelse att programmen kan spara företag pengar i längden så är det ändå en betydande investering, där vissa simuleringsprogram kan kosta flera hundra tusen för fullständiga licenser. I Nolatos fall uppskattar de att den initiala kostnaden för endast två av deras analysprogram (Moldex och GOM) landade på ungefär en miljon kronor, med en underhållskostnad på 200 000 kronor om året. De höga kostnaderna ställer högre krav på utnyttjandet av mjukvaran. Det är därmed viktigt att undvika att inneha dyra licenser för ett program som inte nyttjas eller nyttjas felaktigt. Vissa företag erbjuder alternativa betalningslösningar istället för att köpa hela licenser, exempelvis att det blir en kostnad per datortimme simulerad eller en avgift som baseras på antalet element/noder meshen består av.

## 7.2 Den iterativa processen

I detta projekt har det inte bara varit en teoretiskt god idé att jobba iterativt, det har varit direkt nödvändigt. Varje resultat från varje lyckad simulering har gett nya insikter, som efter tolkning har lett till designförändringar och förbättringar. Detta är självklart något positivt, men även stundvis frustrerande och mycket tidskrävande. Särskilt under projektets slutskede, när en ny förändring har implementerats som medföljer att alla simuleringsmoment var tvungna att göras på nytt.

I det initiala skedet av simuleringsarbetet arbetade båda examensarbetarna med konstruktionsanalys, där var och en ansvarade för olika scenarion. Till exempel kunde den ena arbetaren simulera monteringsprocessen medan den andra simulerade rotationsrörelsen. Detta ledde till parallella iterationer av designförbättringar, som var och en baserade på det resultat som respektive arbetare fick fram av sina simuleringar. Resultatet blev två snarlika designs som hade anpassats för två olika scenarion, med simuleringsresultat som tagits fram under olika premisser. Ofta hade ett designspår gett fler värdefulla förbättringar än den andra, varpå det mindre lyckade designspåret skrotades. Att jobba iterativt på detta sätt är självklart extremt ineffektivt, då i princip bara 50% av arbetet som utförs används för vidare utveckling. Lösningen på detta hade varit att dela upp arbetet på ett sådant sätt att de förändringar som arbetare A gör inte påverkar det arbete som arbetare B utför och vice versa. Vilket också var vad som skedde när formfyllnadsanalysen kom in i bilden. Då kunde båda arbetarna undersöka en design med respektive mjukvara, göra en iteration var, för att sedan samla lärdomar och tillsammans förbättra designen. Detta var ett avsevärt effektivare sätt att lägga upp arbetet på.

Det fanns andra sätt att genomföra FE-analyserna. Ett möjligt arbetssätt under dimensioneringen av delarna hade varit att göra en Design of Experiment i programvaran. Genom att parametrisera kritiska mått hade det varit möjligt att kunna få fram samband och därmed få en djupare förståelse för hur dessa parametrar påverkar resultatet. Problemet med det arbetssättet är att det inte hade varit möjligt med den tillgängliga datorkapaciteten att genomföra de icke-linjära simuleringarna. För en vanlig simulering kunde datortiden, beroende på simulering, vara uppemot 8 timmar. Det finns också praktiska problem med att parametrisera dimensioner, exempelvis hade delarna behövt ritas om i ett program som är kompatibelt med Ansys vilket hade varit en tidskrävande process. För det slutgiltiga konceptet fanns fyra olika typer av simulering det hade behövts ta hänsyn till om simuleringarna hade gjorts med en DoE (Design of Experiments) för att finna de bästa dimensionerna. På grund av de tidigare nämnda omständigheterna, valdes istället en arbetsprocess där förändringarna ändras manuellt.

### 7.3 Resultatet

Resultaten blev över lag bra och gick i linje med våra förväntningar, framförallt för konstruktionsanalysen och formfyllnadssimuleringarna. Både konstruktionsanalyserna och formfyllnadssimuleringarna pekar på en produkt som går att tillverka och använda en, vilket är ett bra resultat. Däremot dras slutresultatet ned något av mått- och toleransanalyserna.

Även fastän det har varit utmanande att köra en helt virtuell produktutveckling för en plastprodukt, har projektet gått att genomföra i princip som planerat. Vissa moment har varit mer krävande än andra och under projektets gång har det upptäckts felkällor som har varit större än vad som hade förutspått innan projektet startade. Ett exempel är materialmodellen som skiljde sig mer från verkligheten än förutspått. Om det hade funnits en möjlighet att genomföra ett nytt projekt hade säkert mycket kunnat ha gjorts bättre, som att ha en referens till hur lång tid vissa moment förväntas att ta eller en bättre kunskap om mjukvarorna.

Sammanfattningsvis går det att konstatera att projektet har resulterat i en produkt som är redo för realisering, men med förbehåll för framtida förbättringar av konstruktionen eller designen. I nuläget hade produktion av produkten, med hur toleranserna och det resulterande underlaget ser ut just nu, lett till en stor andel defekta produkter. För att minska mängden eventuella defekta produkter hade toleranserna behövt bli något generösare, eller så hade processen och tillverkningen behövts förfinas till den grad att det är möjligt att konsekvent uppnå de satta toleranserna. Det måttet som hamnade utanför toleransmåttan var måttet för ytterdiametern på den översta flänsen. Flänsarna är designade med olika ytterdiametrar vilket skulle innebära att beroende på mått på flaskan eller avvikelser från de nominella måtten kommer användaren trycka ner vinkorken så långt som

möjligt i flaskan. Därför finns det förmodligen möjlighet att ha större toleranser på just det måttet. Eftersom det första alternativet är rimligare, att kontrollera om toleranserna kan bli mer generösa, än det andra alternativet, särskilt för en icke-kommersiell produkt. Därför är vidare utveckling av designen att rekommendera. Produkten går att tillverka, i teorin, men när den möter verkligheten kan den behöva justeras något.

## 7.4 För framtida projekt

I detta projekt har alla stegen som behövs för att genomföra en god virtuell produktutveckling genomförts. Från en nominell CAD som med hjälp av FE-analyser förbättrar designen som kopplas ihop med formfyllnadssimuleringen för att minska cykeltid och förbättra den slutliga tillverkade produkten. Detta kopplades också ihop med mätning och toleransanalys för att kunna ha en design som kan användas även när måtten avviker från det nominella. När alla dessa steg kombineras är detta en väl fungerande metod för produktframtagning av plastprodukter.

Det finns möjligheter för framtida forskning att gå in djupare på de individuella stegen såsom att ta fram bättre materialmodeller än de som användes i detta examensarbete. En annan viktig del är också hur en mer robust design och kanske borde tolerans- och mätninganalysen tidigare ha kopplats in i detta projekt för att få en mer robust design. Redan under konceptfasen borde tolerans- och mätninganalysen tagits i beaktande i form av ett av flera utvärderingskriterier. Det hade sannolikt påverkat valet av koncept och kanske gett ett annat utfall.

Ett annat potentiellt arbete är att ta den formfyllda modellen i Moldex3d och sätta in den i en FE-mjukvara. Detta hade inneburit att det varit möjligt att köra simulationer på en faktisk virtuellt tillverkad produkt. Ifall det hade varit genomförbart hade detta motsvarat att göra tester på en fysiskt tillverkad produkt och därigenom göra hela den virtuella produktutvecklingen komplett. Det finns däremot utmaningar och hinder med ett sådant arbetssätt. Meshen behöver i formfyllnadsprogrammet överföras till en mesh i FE-mjukvaran på ett smart sätt. Ett eventuellt möjligt sätt är att överföra meshen i formfyllnadsprogrammet till en vanlig step-fil där eventuella vassa kanter från meshen i formfyllnadsprogrammet slätas över men att det fortfarande behåller sin form. Denna step-fil hade sedan kunnat importeras till FE-mjukvaran likt en vanlig CAD-fil. Det finns stora utmaningar med ett sådant koncept, men det hade gett goda resultat och varit till stor nytta för att förutse egenskaperna hos den tillverkade produkten.

# 8 Slutsats

## 8.1 Utvärdering av målen

De tre målen som sattes upp i början av projektet och beskrevs i kapitel 1.3 var:

- Den virtuella utvecklingsprocessen skall väl demonstrera simuleringsverktygens inverkan på traditionell produktutveckling.
- Nolato MediTech skall förses med tillräckligt gott underlag för att påbörja produktion av produkten utan vidare investeringar i utvecklingsprocessen.
- Produkten skall uppfylla sin tänkta funktion och alla produktkrav som ställts av intressenter.

Det första målet, som handlar om att den virtuella utvecklingsprocess som använts under detta projekt, får ändå anses vara uppnått. Genom denna rapport har flera exempel givits där virtuella verktyg har ersatt fysiska aktiviteter. Resultaten och data som genererats av detta har gett gott om underlag för både designförbättringar och processinställningar, vilket annars hade krävt fysiska prototyptester för att ta fram.

Det andra målet bedöms i huvudsak vara uppnått. Som beskrevs i kapitel 7.3 klarar komponenten i fråga (kroppen) de krav för mått och toleranser som var bestämda. På grund av felkällorna som fanns i konstruktionsanalyserna, kan det vara av värde att försöka validera resultaten från konstruktionsanalyserna på en 3d-printad prototyp med motsvarande materialegenskaper. Framför allt skulle monterings- och avmonteringskrafterna vara möjliga att mäta och ifall resultaten från de fysiska testerna motsvarar de från konstruktionsanalyserna kan detta användas i framtida projekt som bevis på att metoden som användes fungerar. Som tidigare nämnt har endast en av två komponenter genomgått en mått-och toleransanalys, så det hade också behövts åtgärdas innan produkten kan bedömas som helt klar. Enligt Nolato själva är konstruktionen ”sannolikt” trogen att fungera som tänkt, men att det även finns ett lika sannolikt behov för smärre justeringar.

Det tredje och sista målet är också uppnått. Dock var resultaten sämre för de båda extremfallen, där alla mått var i sitt extremvärde inom toleransen. Differensen mellan de två extremfallen var stor, vilket potentiellt skulle innebära en stor variation mellan användarupplevelsen från vinkork till vinkork. Mått- och

toleransanalysen visade att toleranserna kan uppnås. Konceptet hade förmodligen behövt förändras en hel del för att komma runt känsligheten till avvikande mått, det ringformade snäppfästet hade kunnat modifieras på delen ”kroppen” till ett snäppfäste som i stället är uppdelat i mindre sektorer vilket skulle kunna lösa detta problem.



# Referenslista

- Ansys. (2020). *Introduction to Contact*. Hämtat från Ansys Innovation Courses: [https://courses.ansys.com/wp-content/uploads/2019/05/2.5.1-Introduction-on-contact\\_New\\_Template\\_Master.pdf](https://courses.ansys.com/wp-content/uploads/2019/05/2.5.1-Introduction-on-contact_New_Template_Master.pdf)
- Bi, Z. (2018). *Finite Element Analysis Applications*. Elsevier.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2001). *Product Design for Manufacture and Assembly, Revised and Expanded (2:a uppl.)*. Boca Raton: CRC Press.
- Bruder, U. (2013). *Vårt att veta om plast*. Karlskrona: Bruder Consulting.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (u.d.). *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach (ppt student lecture notes ch08)*. Wiley.
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2016). *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*. Wiley.
- Cho, D.-H., Bhushan, B., & Dyess, J. (2016). Mechanisms of static and kinetic friction of polypropylene, polyethylene terephthalate, and high-density polyethylene pairs during sliding. *Tribology International* 94, 165-175.
- Grewell, D. (2024). *Bioplastics and Biocomposites A Practical Introduction*. Croydon: The Royal Society of Chemistry.
- Kristensen, V. (den 14 11 2022). *Iterativ Process: Verktug för att löpande utveckla en produkt*. Hämtat från Projektledning: <https://projektledning.se/iterativ-process/>
- Learning, A. (2020). Interpreting Contact Penetration Using Ansys Mechanical — Lesson 3.
- Mägi, M., Melkersson, K., & Evertsson, M. (2020). *Maskinelement*. Lund: Studentlitteratur.
- Massachusetts Institute of Technology. (n.d.). *Snap-Fit Joints for Plastics*. Hämtat från MIT Fab Lab: [https://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic\\_Snap\\_fit\\_design.pdf](https://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf)

- Ottesen, N., & Petersson, H. (1992). *Introduction to the finite element method*. Harlow, Essex: Pearson.
- Rockey, B. (den 26 Februari 2009). *Wikimedia Commons*.
- Schumin, B. (u.d.). *Fire hydrant in Charlottesville, Virginia, United States*.
- Strömvall, H.-E., & Lundh, M. (2022). *Formsprutning helt enkelt - STÄLLARHANDBOKEN* (andra uppl.). Polymercentrum.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2000). *Product Design and Development* (5:e uppl.). Irwin McGraw-Hill.

# Bilaga A Arbetsfördelning mellan examensarbetarna och tidplan

## A.1 Arbetsfördelning mellan examensarbetarna

Båda examensarbetarna har studerat Maskinteknik med inriktning på produktutveckling vid Lunds Tekniska Högskola och har haft (bortsett från specifika kurser) samma akademiska bakgrund och kunskap. Under de inledande delarna av projektet fördelades arbetet mellan examensarbetarna lika då båda deltog på samtliga moment under det initiala planeringsarbetet, konceptarbetet och designarbetet. Därefter gjordes en uppdelning av arbetsområdena, dels för att effektivisera arbetet, dels för att matcha arbetsuppgift med respektive examensarbeters kompetens och erfarenhet.

H. Bergkvist har under projektet varit främst ansvarig för konstruktionsanalyserna med dess simuleringar samt designförbättringarna i CAD som följd. Det har även speglats i rapporten där Bergkvist har tagit extra ansvar för just de kapitlen.

M. Carmén har under projektet varit främst ansvarig för formfyllnadsanalyserna med dess simuleringar samt rapportens struktur. Likt tidigare nämnt har även detta speglats i rapporten.

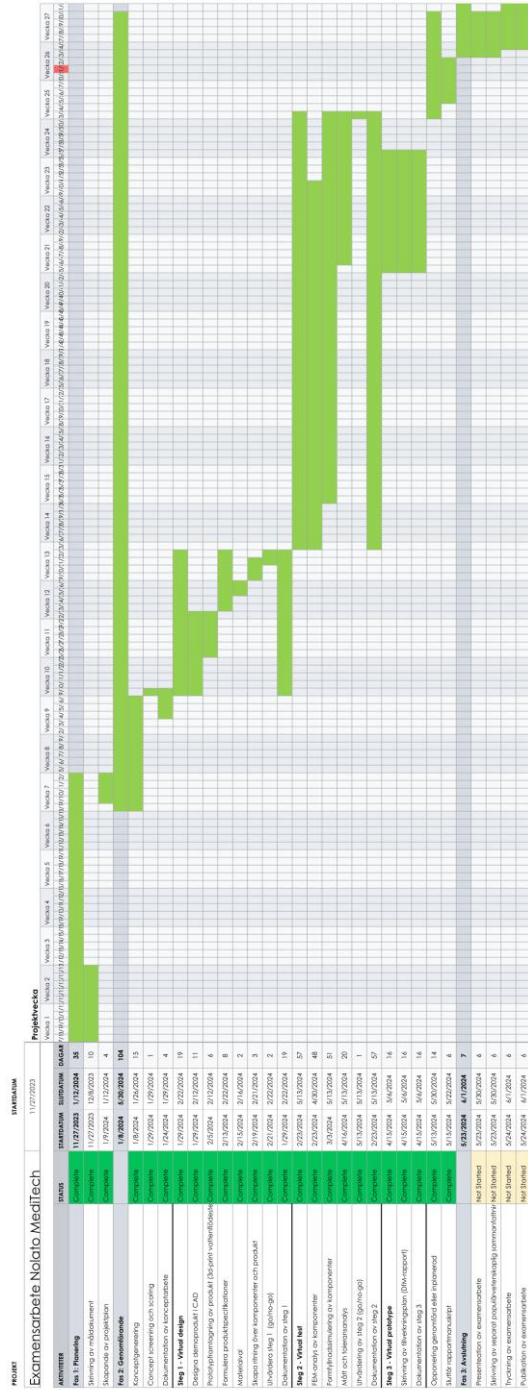
Vid projektets slutskede har båda examensarbetarna tagit delat ansvar för mått- och toleransanalyser och rapportskrivande. Både Carmén och Bergkvist har varit införstådda i samtliga moment under projektets gång och har tillsammans sammanställt, diskuterat och redigerat innehållet i rapporten.

## A.2 Antagen tidplan och faktiskt utfall

Det var svårt att sätta en tidplan i början av projektet. Dels på grund av att den virtuella produktutvecklingen inom plast var till mestadels ny för examensarbetarna, dels att det är svårt att uppskatta hur lång tid vissa moment förväntas att pågå. Det iterativa arbetssättet var också svårt att på ett intuitivt sätt illustrera i ett Gantt-schema. De slutsatser från skillnaderna mellan Gantt-scheman på den antagna tidplanen i Figur A.1 och den faktiska tidplanen Figur A.2, är att det var framför allt ”steg 2: virtual test” som drog ut på tiden. Orsaken till detta var problem och hinder som uppkom under detta steg men också att tidsåtgången hade underskattats på förhand.



Figur A.1: Antagen tidplan



Figur A.2: Faktisk tidplan

# Bilaga B Koncept- och designarbete

*Tabeller med kundpåstående, kundkrav, intressenternas krav och målspecifikation*

## B.1 Kundpåstående – Kundkrav

Kundpåstående	Kundkrav
Det blir en bra stråle när man håller ut vätskan i flaskan	Bra form på strålen
Det tar inte lång tid att hålla upp i ett glas	Lagom vätskeflöde
Produkten kan inte läcka	Sluttåtande låsmekanism
Ska vara enkel att använda	Bra ergonomi
Ska vara enkelt att förstå hur produkten fungerar	Intuitiv användning alt. kommunikation på produkten
Alla ska kunna montera på och av korken	Lagom kraft för att på och av korken
Fungerar på olika storlekar av flaskor	Korken är kompatibel med flera olika former
Går att rengöra enkelt	Separerbara delar alt. inga luckor för smuts i produkten
Kan återanvändas flera gånger	Produkten skall överleva första användningen
Ser inte billig ut	Designutseendet signalerar bra kvalitet
Produkten ska ha en låg miljöpåverkan	Hållbart materialval av plast
Vätskan i flaskan behåller sin kvalitet	Materialet har goda barriärsegenskaper
Att strypa vattenflödet ska vara enkelt utan att mycket kraft krävs	Låg kraft krävs för att strypa vätskeflödet

**Figur B.1: Omskrivning av kundpåstående till kundkrav**

## B.2 Gradering kundkrav

Nr.	Kundkrav	Vikt
1	Bra form på strålen	3
2	Lagom vätskeflöde	4
3	Sluttätande låsmekanism	5
4	Bra ergonomi	4
5	Intuitiv användning alt. kommunikation på produkten	3
6	Lagom kraft för att på och av korken	5
7	Korken är kompatibel med flera olika former	2
8	Separerbara delar alt. inga luckor för smuts i produkten	3
9	Produkten skall överleva första användningen	4
10	Designutseendet signalerar bra kvalitet	4
11	Hållbart materialval av plast	3
12	Materialet har goda barriärsegenskaper	4
13	Låg kraft krävs för att strypa vätskeflödet	4

Figur B2: Gradering av kundkraven

## B.3 Intressenternas krav

	Intressenternas krav	Vikt
i	Två delar	5
ii	Låg tillverkningskostnad	4
iii	Produkt med hög kvalitet	5
iv	Tillverkad i plast	5!

Figur B3: Intressenternas krav

## B.4 Målspecifikation

Specifikation nr.	Krav nr.	Specifikation	Vikt	Enhet	Ideal värde	Max värde	Min värde	Tillvägagångsätt mätning av specifikation
1	I	Vattenutflöde	3	cl/s	3	5	2	Fysiska tester
2	I	Antal delar	5	st	2	3	2	
3	iv	Material	5i	-	Termoplast	Termoplast	Termoplast	
4	ii	Tillverkningskostnad	4	kr	0	20	0	Formfyllnadssimulering, CAD
5	10, iii	Kvalitet	5	subj (1-5)	5	5	4	
6	iii, 8.9, 11, 12	Livslängd	4	år	gränslös	gränslös	5	FEM
7	3, iii	Läcker inte	5	Ja/Nej	Ja	Ja	Ja	CAD, FEM
8	4, 5, 6	Användarvänlighet	4	subj (1-5)	5	5	4	FEM, Fysiska tester
9	6	Kraft för ihopmontering	5	N	10	25	5	FEM
10	6	Kraft för avmontering	5	N	40	100	15	FEM
11	7	Kraft för montering av vinkork i flaska	4	N	40	60	15	FEM
12	7	Kraft för avmontering av vinkork ur flaska	4	N	40	60	15	FEM
13	8	Diskbar	3	Ja/Nej	Ja (och maskin)	Ja (och maskin)	Nej	
14	13	Kraft för rotera ventil	4	N	2	4	0.5	FEM
15	11	Miljöpåverkan	3	CO2-ek	0	-	-	Formfyllnadssimulering, CAD, FEM

Figur B4: Målspecifikation

## B.5 Concept scoring



Product	Weight	Tuppen		Kranen		Krydden		Kroppen		Bågen	
		Rating	Weighted score	Rating	Weighted score	Rating	Weighted score	Rating	Weighted score	Rating	Weighted score
Vattenlöde	15.0%	2	0.3	4	0.6	2	0.3	2	0.3	2	0.3
Slutåtningsförmåga	20.0%	4	0.8	4	0.8	3	0.6	3	0.6	3	0.6
Användningskraft	15.0%	5	0.75	5	0.75	3	0.45	3	0.45	4	0.6
Utseende	10.0%	3	0.3	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Förväntad livslängd	10.0%	4	0.4	4	0.4	4	0.4	3	0.3	4	0.4
Användarvänlighet	10.0%	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4	3	0.3
Simuleringsmöjligheter för exam	10.0%	4	0.4	4	0.4	3	0.3	2	0.2	4	0.4
Tillverkningsbarhet	10.0%	4	0.4	5	0.5	3	0.3	3	0.3	1	0.1
Total score		3.65		4.15		3.15		2.95		3.1	
Rank		2		1		3		5		4	
Continue?		No		Yes		No		No		No	

Figur B.5: Concept scoring