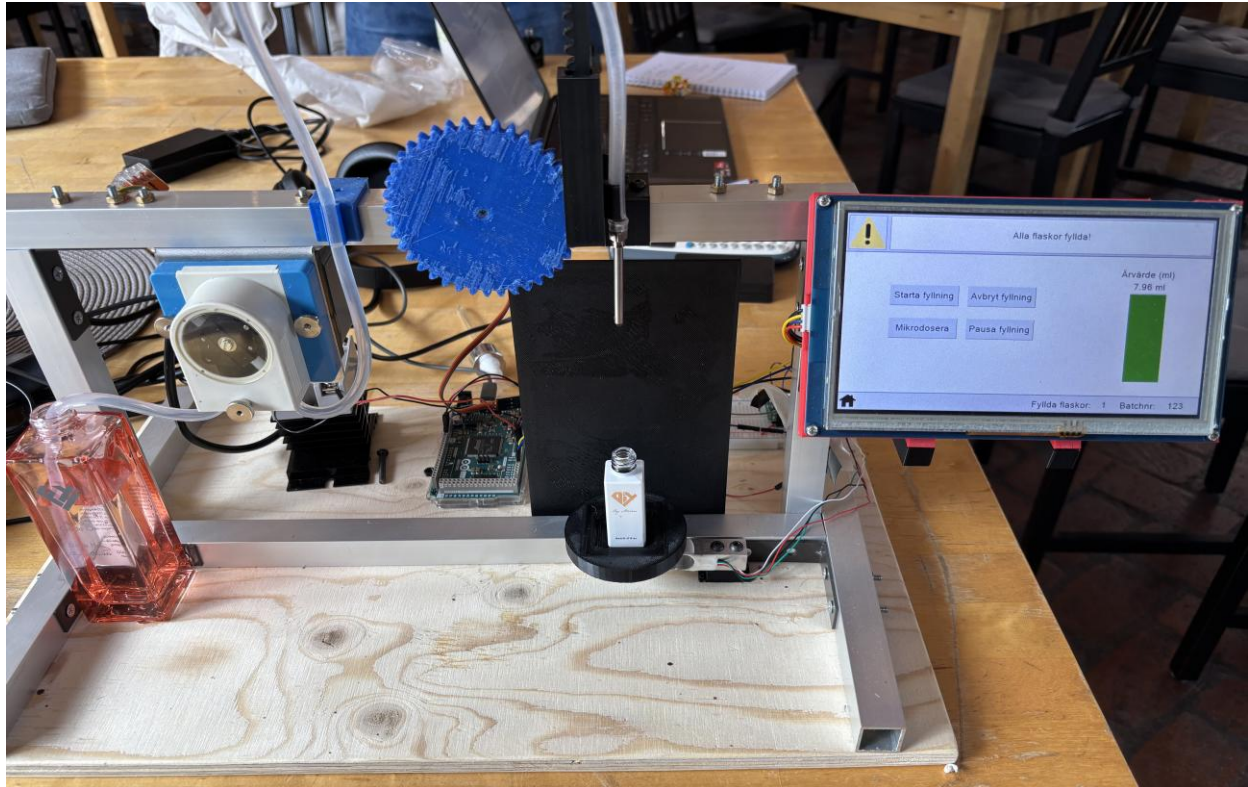




CHALMERS



Fyllningsmaskin med precision

För fyllning av vätskor med olika viskositet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet mekatronik

Karolis Sutkus & Leo Tran

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se



CHALMERS

Fyllningsmaskin med precision
För fyllning av vätskor med olika viskositet
KAROLIS SUTKUS, LEO TRAN

©KAROLIS SUTKUS, LEO TRAN, 2025.

Examensarbete 2025
Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon +46 (0)31-722 1000

Framsida: Fyllningsmaskin med precision
Göteborg, Sverige 2025

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört av två studenter inom Mekanikingenjörs programmet på 180 högskolepoäng på Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes i samarbete med Broccoli Engineering AB under vårterminen 2025.

Vi vill rikta stort tack till våra handledare Björn Bergholm och Ola Ljunggren för deras entusiasm och stöd under arbetets gång. Vi vill även tacka Marcus Thersthol som har uppmuntrat oss att söka examensarbete på Broccoli Engineering AB.

Sist men inte minst vill vi tacka alla våra vänner som har gjort dessa tre åren glädjrika även under stressade perioder, ni har fått oss att inse att sällskapet är minst lika viktigt som destinationen.

SAMMANFATTNING

Denna rapport behandlar framtagningen av en fyllningsmaskin med precision som ska vara anpassad för vätskor med olika viskositet. Arbetet är utfört på Broccoli Engineering AB som är ett konsultföretag inom flertal ingenjörsområden, där ingår även en verksamhet som arbetar med skönhetsprodukter som nagellack och nagelolja. För att kunna effektivisera produktionen efterfrågades en fyllningsmaskin som hade förmågan att hantera olika vätskor. Maskinen konstruerades på en träskiva med en aluminiumram och använde sig av ett flertal elektroniska komponenter för att uppfylla sitt syfte. De främsta komponenterna i arbetet var en peristaltisk pump, SSR, mikrocontroller, HMI, servomotor, lastcell och tillhörande förstärkare.

Största delen av arbetet ägnades åt funktionstestning för att säkerställa att systemets funktioner var tillfredställande för sitt syfte, därefter testades fyllningsmaskinen i sin förmåga att med precision fylla olika volymer med vätskor av varierande viskositet.

Testresultaten påvisar att maskinen uppfyller de flesta toleranskraven på $\pm 0,5\%$ för de olika flaskvolymerna, däremot inte när det gäller volymer under 8ml. Avvikelserna för de mindre volymerna är marginella och kan godkännas genom avrundning.

Slutbedömning av arbetet är att det är fullt möjligt att konstruera en fyllningsmaskin med precision, dock föreslås ett flertal förbättringar i form av komponenter av högre kvalitet och finjustering av kod för fyllningsfunktioner. Mer omfattande tester bör göras för flera vätskor och volymer, samt bör mätresultaten verifieras med en extern precisionsvåg av högre kvalitet för att säkerställa korrekta fyllningsresultat.

ABSTRACT

This project explores the development of a precise filling machine adapted to liquids of varying viscosities. This project was conducted with Broccoli Engineering AB, a consulting firm working within several fields of engineering including a company specializing in beauty products such as nail polish and oils. To make production more efficient, an automated filling machine was requested, suited to different liquids. The machine was constructed on a wooden plank with an aluminum frame, with the main electrical components consisting of a peristaltic pump, SSR, microcontroller, HMI, servo motor, load cell and an amplifier.

The work mainly consisted of testing to ensure the system's functions met the specified requirements and whether the machine was capable of accurately filling different volumes and viscosities.

The test results show that the machine meets most of the tolerance requirements of $\pm 0,5\%$ except for the bottles with less than 8ml. However, these deviations were negligible and considered acceptable when accounting for rounding.

The final assessment is that it is possible to develop a precise filling machine, although there are several areas of improvement suggested such as higher quality components and tuning the code. Extensive tests are suggested for other types of liquids and volumes. To ensure correctly filled volumes an external scale of higher quality should be used during testing.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	0
SAMMANFATTNING.....	0
ABSTRACT.....	0
Terminologi/förkortningar.....	1
1. INLEDNING.....	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Precisering av frågeställningen.....	2
2. TEKNISK BAKGRUND.....	3
2.1 Peristaltisk pump.....	3
2.2 Human-Machine Interface.....	3
2.3 Mikrokontroller.....	3
2.4 Solid State Relä.....	3
2.5 Lastcell.....	3
2.6 HX711 Lastcellsförstärkare.....	3
2.7 Servomotor.....	4
3. METOD.....	5
3.1 Informationssökning.....	5
3.2 Design.....	5
3.3 Testning och Verifiering.....	5
4. GENOMFÖRANDE.....	6
4.1 Komponentval.....	6
4.2 Programmering i Arduino IDE.....	6
4.2.1 Pumpfunktion.....	6
4.2.2 Lastcell och HX711.....	6
4.2.3 Injektionsfunktion.....	7
4.2.4 Nextion HMI.....	7
4.3 Strömförsörjning.....	9
4.4 Konstruktion.....	9
4.4.1 3D-printade delar.....	9
4.4.2 Konstruktionsmaterial.....	14
4.5 Slutlig Maskinkonstruktion.....	15
5. RESULTAT.....	16
5.1 Funktionalitet.....	16

5.2 Systemöversikt	16
5.3 Fyllningsresultat vid testning med vatten	17
5.3.1 Fyllningsresultat från första testet.....	18
5.3.2 Fyllningsresultat från andra testet	18
5.3.3 Fyllningsresultat från tredje testet	18
5.4 Fyllningsresultat vid testning av andra vätskor	18
5.4.1 Fyllningsresultat med proteinpulverblandning	19
5.4.2 Fyllningsresultat med isopropanol	19
6. SLUTSATS OCH DISKUSSION	20
6.1 Utvärdering av fyllningsresultat	20
6.2 Säkerställning av korrekt fyllning.....	21
6.2.1 Slangen drar sig ut ur pumphuset vid pumpning	21
6.2.2 Felmätningar	22
6.2.3 Hantering av luftbubblor.....	23
6.3 Design och utveckling	23
6.3.1 Användargränssnitt.....	23
6.3.2 Säkerställa kundnöjdhet.....	24
6.4 Potentiella förbättringar	24
6.4.1 Flaskpositionering och injicering	25
6.4.2 Återkoppling.....	25
6.4.3 Drift i annat klimat	25
6.4.4 Kylning av pump.....	25
6.6 Hållbar Utveckling och Etik	25
6.7 Slutsats	26
REFERENSER	27
BILAGOR	29

Terminologi/förkortningar

Nedan förklaras ord och förkortningar som har använts i arbetet.

HMI	Human Machine Interface
SSR	Solid State Relay
VFD	Variable Frequency Drive
HX711	En analog-till-digital-omvandlare med inbyggd förstärkare för signalmätning
Viskositet	En egenskap hos vätskor som betecknar deras motstånd mot flöden
Densitet	Är massa per volymenhet
Kalibrering	Processen av att justera mätinstrument så att det ger precisa mätvärden

1. INLEDNING

I denna rapport undersöks framtagningen av en fyllningsmaskin och hur viskositeten hos olika vätskor påverkar fyllningsprocessen. Detta är särskilt relevant inom industrin, där den teknologiska utvecklingen konstant växer och driver på nya tekniska tillämpningar. Precision och automatisering är viktiga faktorer i denna utveckling och spelar central roll för att effektivisera produktionsprocesser. Syftet med rapporten är att undersöka hur en fyllningsmaskin med hög precision ska konstrueras och samtidigt vara anpassningsbar för vätskor med olika viskositet och volym.

1.1 Bakgrund

Broccoli Engineering AB är ett Göteborgsbaserat konsultföretag som bedriver verksamhet inom ingenjörskonsten. Företaget arbetar med att utveckla diverse system inom ett flertal områden, där kontroll, reglering, säkerhet, övervakning och kommunikation är viktiga funktioner. Systemen som utvecklas kan vara inbyggda, molnbaserade, uppkopplade, autonoma eller hybrida. En del av verksamheten arbetar med hanteringen av skönhetsprodukter, såsom nagellack och nagelolja. Därför behöver företaget en fyllningsmaskin anpassad för vätskor med olika viskositet för att kunna effektivisera sin produktion. De nuvarande lösningar är både ineffektiva och tidskrävande för en större produktion.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att framställa en fyllningsmaskin som är lättanvänd, noggrann i dosering samt anpassad för att hantera vätskor med olika viskositet för att optimera produktionen och säkerställa samma kvalitet på slutprodukterna.

1.3 Avgränsningar

Maskinen kommer att tillverkas för fristående användning och kommer därför inte vara optimerad för integrering i till exempel en produktionslinje. Maskinen som framställs kommer inte vara helautomatisk, den kommer kräva viss manuell hantering av en operatör, då inställningarna för vätskorna ska justeras manuellt i HMI, samt att fyllda behållare ska bytas ut för hand.

1.4 Precisering av frågeställningen

- Vad krävs för att uppnå en fyllningsprecision på 0,5% vid fyllning av behållare?
- Vad krävs för att säkerställa jämn fyllning för vätskor med olika viskositet?
- Hur kan HMI-gränssnittet designas för att enkelt ställa in vätskeparametrar?
- Hur ska maskinen utvecklas för att möjliggöra dosering för de sista dropparna?
- Hur ska maskinen hantera bubblor under fyllningen av vätskor?

2. TEKNISK BAKGRUND

I detta kapitel redovisas huvudkomponenterna för fyllningsmaskinen.

2.1 Peristaltisk pump

En peristaltisk pump används för att transportera olika vätskor genom att mekaniskt trycka ut vätskan, till skillnad från andra typer av pumpar som använder sig av rotationsenergi för att skapa flöde. Peristaltiska pumpar använder sig av en rotor med ett visst antal rullar som pressas emot en slang, vilket skapar tryck i slangen som i sin tur tillåter förflyttning av vätskan [1].

2.2 Human-Machine Interface

HMI står för ”Human-Machine Interface” och är gränssnitt som tillåter operatören att interagera med maskiner eller styrsystem [2]. Syftet med HMI:et är att ge operatören möjlighet att genom knapptryck styra maskinen och ställa in nödvändig data, dessutom ska HMI:et även tillhandhålla information om aktuella larm och maskintillstånd.

2.3 Mikrokontroller

Mikrokontrollers ofta förekommande i inbyggda system och är avsedda för att styra ett visst program, de kan beskrivas som små datorer och består av oscillatorer, A/D-omvandlare, Mikroprocessor, RAM och in- och utgångar(I/O) som möjliggör kommunikation med externa enheter som exempelvis HMI och andra sensorer [3].

2.4 Solid State Relä

En SSR används som en elektrisk styrbar brytare. I stället för att använda mekaniska delar som ett vanligt relä används halvledarkomponenter för brytning såsom transistorer, dioder och tyristorer.[4] Detta gör det möjligt att styra ledning av AC ström genom en DC signal.

2.5 Lastcell

Lastceller används för att mäta krafter som vikt och består av en mekanisk flexibel struktur tillsammans med 4 motstånd i en Wheatstone-bryggkonfiguration. När en kraft appliceras förändras resistansen som skapar en liten spänningsförändring. Denna spännings förändring som är proportionell mot den kraften som applicerats kan mätas med A/D omvandlare, såsom HX711 förstärkaren, som gör det möjligt att beräkna vikten med hög noggrannhet [5].

2.6 HX711 Lastcellsförstärkare

En Hx711 förstärkare är en komponent som kompletterar lastcellen. Det är en 24-bitars analog-till-digital omvandlare som används för att mäta de små ändringar i spänning som lastcellens böjningar utger [6], det används framför allt i vägsystem som kräver noggranna mätningar. Med ett inbyggt lågt pass filter blir mätningarna smidigare och filtrerar högfrekventa signaler och andra störningar.

2.7 Servomotor

En servomotor används för att få precis positionering snabbt med kraftigt vridmoment. Med en felförstärkare jämförs en referensspänning med återkoppling för att bestämma motorns position. Genom att skicka PWM signaler, kan en mikrokontroller styra motorn [7].

3. METOD

Metodkapitlet redogör för de viktigaste processerna i framtagningen av fyllningsmaskinen och testning för maskinens funktioner.

3.1 Informationssökning

Arbetet påbörjades genom att undersöka hur befintliga fyllningsmaskiner är konstruerade och vilka funktioner som är viktigast för en fyllningsmaskin. I samband med informationssökningen framställdes även en kravspecifikation för fyllningsmaskinen som skulle konstrueras. Andra delen av arbetet var att söka fyllningmaskinens huvudkomponenter, genom att utvärdera vilka komponenter som är lämpliga för en fyllningsmaskin och undersöka hur de fungerar, därefter exkludera dem som inte uppfyller kraven. När komponenterna hade valts, beställdes de och sedan kopplades för att kunna testa fyllningen med vatten som referensvätska. När maskinen klarade att hantera vatten i precisa mängder, förbättrades den för att kunna hantera vätskor med varierande viskositet.

Större delen av informationssökningen gick åt lära sig relevanta programmeringsbibliotek för mikrokontroller, lastcellen och HMI-panelen och säkerställa att de kunde kommunicera effektivt med varandra.

3.2 Design

I början skapades en kravspecifikation enligt företagets önskemål för maskinen och därefter påbörjades komponentsökningen. När val av komponenter var gjort, skissades ett kretsschema för hur de skulle vara kopplade och placerade. Samtidigt gjordes en grov skiss av hur maskinen skulle se ut när det kom till ram och utseende. Delar 3D-printades för testningsfasen av komponenter såsom för servomotorn och lastcellen vilket sedan utvecklades vidare. Utformningen av maskinens hela process designades, från nödvändiga till önskade funktioner.

3.3 Testning och Verifiering

Under hela arbetsgången testades samspelet mellan både nya och befintliga funktioner för att säkerställa kommunikationen mellan komponenterna. Därefter testades samtliga funktioner med vätskor av varierande viskositet i stället för enbart referensvätskan. Slutligen testades maskinen för att säkerställa att den uppfyllde alla krav på kravspecifikationen.

4. GENOMFÖRANDE

Genomförandedelen av rapporten beskriver hur examensarbetet har genomförts och vad som har gjorts.

4.1 Komponentval

Då pumpen tillhandahölls från Broccoli fick övriga komponenter för maskinen planeras utifrån pumpen i centrum. Pumpen i fokus var en peristaltisk pump som krävde 230 volts växelström. Mycket tid lades ned på att undersöka hur denna kunde styras och ett flertal lösningar utvärderades. Först funderades det på hur hastigheten av vätskepumpningen kunde styras med en frekvensomvandlare genom mikrokontrollen. Detta ansågs både onödigt och dyrt och valdes därför bort.

I stället beslöts det att styra 230 volts pumpen genom en SSR [8] med en 5 volts signal från mikrokontrollen. Behöver flödet ändras så styrs hastigheten genom att skicka pulser. Eftersom det konstaterades tidigt att en våg skulle återkopplas till pumpen, införskaffades en lastcell med en HX711 förstärkare [9]. Alternativet att använda en extra optisksensor för att öka precisionen diskuterades men blev uteslutet på grund av att det var svår implementerat. Ett flertal av kraven för maskinen var relaterade till styrning av en operatör, detta resulterade att en "Nextion HMI" [10] införskaffades där operatören ska kunna överse processen. För att se till att vätskorna fylls inuti flaskan och minska spill, valdes en SG90 servomotor [11] för att ansvara över att en trubbig nål placeras rätt i flaskans hals. Hela systemet styrs av en "Arduino Due" [12] mikrokontroller, vilket valdes på grund av tidigare erfarenheter med mikrokontrollen och programmeringsspråket.

4.2 Programmering i Arduino IDE

Ett stort fokus har lagts på programmering av fyllningsmaskinen där ett flertal komponenter och funktioner har programmerats i Arduino IDE för att uppnå målen. Arduino IDE är ett gratis utvecklingsverktyg som används för att koda Arduino mikrokontroller.

4.2.1 Pumpfunktion

En pumpfunktion programmerades som aktiveras när operatören trycker på "start-knappen" i HMI. Funktionen tar in fyllningsparametrarna (volym, densitet, antal flaskor som ska fyllas) som operatören tidigare skrivit in i "Inställningsskärmen" på HMI. Dessutom kallar funktionen på lastcells funktionen som konstant läser av vikten på lastcellen och injicerings funktionen ser till att munstycket hamnar i halsen av flaskan. Med denna återkoppling styrs SSR så att pumpen fyller på tills operatören trycker stop eller när parametrarna för fyllning är uppnådda.

För att säkerställa precision så börjar pumpen att mikrodosera när det endast finns 2 milliliter kvar av fyllningen. Små mängder pumpas i snabb repetition och vägs av lastcellen mellan varje pump. När målet är uppnådd stoppas pumpen och servot går tillbaka till sitt startläge.

4.2.2 Lastcell och HX711

För att kunna ge precisa värden programmerades både en vågfunktion samt en kalibreringsfunktion med hjälp av Arduinos HX711 programmeringsbibliotek. Vågfunktionen

kallas inom pumpfunktionen för att kontinuerligt kontrollera rätt vätskemängd. Signalen som blir förstärkt av HX711 förstärkaren läses av mikrokontrollen och multiplicerar den förstärkta spänningsmätningen med en faktor. Denna signal kan därefter läsas som gram, vilket i sin tur räknas om till milliliter. För att se till att lastcellen är så noggrann som möjligt tillfördes en kalibrerings funktion som användare kan manuellt starta. Genom att använda funktionen "read_average()" läses förstärkaren ett bestämt antal gånger och snittar resultatet för att minimera störningar och få en jämn avläsning. Genom att då läsa av lastcellen med en känd vikt (A) och utan en vikt (B) kan de subtraheras för att veta skillnaden i vikt som lastcells signaler. Delar man skillnaden med den kända vikten (C) blir resultatet en faktor som lastcellen kan använda för att beräkna den exakta vikten av varje last. Detta skapar följande formel:

$$Faktor = \frac{A-B}{C} \quad (1)$$

4.2.3 Injektionsfunktion

Med servomotorn programmerades en injiceringsfunktion för att säkerställa att vätskan hamnar i flaskan och minskar spill. På grund av de olika flaskornas storlek har funktionen färdiginställda positioner som servot hänvisas till, baserat på det önskade fyllningsvolymen. Innan pumpen startas så roteras servot det fästa kugghjulet som i sin tur trycker ner kuggstången som håller nålen in precis till slutet av flaskans hals. Under pumpning hålls nålen stabilt och tack vare servots precision kan nålen positioneras exakt vid varje fyllning. Efter avslutad fyllning dras nålen tillbaka till startposition redo för nästa fyllning. För att få nålen att både nå de minsta och största flaskorna behövde kuggstången ha en längd på minst 12,5 cm. För att räkna ut kugghjulets omkrets (C), i syfte att passa kuggstången med en minsta längd på 12,5 cm, användes följande formel:

$$C = 2\pi r \quad (2)$$

Eftersom servomotorn hade ett begränsat vinkelområde på 180 grader och formeln för omkretsen är en hel cirkel behöver formeln ändras till följande:

$$C = \pi r \quad (3)$$

$$12,5 \approx \pi r \Rightarrow \frac{12,5}{\pi} \approx r \quad (4)$$

$$r \approx 3,97 \text{ cm} \quad (5)$$

Med radien på kugghjulet som 4 cm motsvarade varje grads vridning 0,6 mm längs kugghjulet omkrets, vilket översattes linjärt till kuggstången.

4.2.4 Nextion HMI

Nextion HMI programmerades i två olika program. Visuella funktioner och knappar programmerades i Nextion Editor. Funktioner som skulle aktiveras vid knapptryckningar och information som skulle skickas tillbaka till HMI, programmerades i Arduino IDE.

4.2.4.1 HMI och Nextion Editor

Då Nextion Editor inte har ett internt designverktyg eller bakgrunds- och symbolbibliotek behövdes en egen bakgrund för skärmen designas i ett designprogram som exempelvis Photoshop och Gimp. Dessa användes för varje skärm som skapades i HMI. Nextion Editor hade dessutom inte ett ikonbibliotek så två ikoner, en för hemskärm och en för larm implementerades i Nextion Editor på samma sätt som bakgrunden.

Ett flertal skärmar skapades för de olika funktioner, i detta fall, en startskärm, hemskärm, larm, fyllningsinställningar, kalibrering och en för fyllningskontroll. Förflyttning mellan skärmarna programmerades internt i Nextion Editor. Varje skärm innehåller en larm knapp för att ta sig till larmsidan, men även en liten ruta bredvid som beskriver aktuellt larm. Alla skärmar utrustade med text som visar antalet fyllda flaskor, batch-nummer och en hemskärmsknapp för att enkelt ta sig till hemskärmen.

Startskärmen visas när maskinen startas och innehåller ”Broccoli” logotyp och en knapp för att gå till hemskärmen. Genom hemskärmen tar man sig till de övriga skärmarna för kalibrering, inställningar, fyllning och larm- och underhåll.

Larm- och underhållskärmen innehåller en larmlista med en knapp för kvittering av larmen, knappen rensar alla aktuella larm. Skärmen har även knappar för att starta och stoppa tömning. Kalibreringsskärmen innehåller tre knappar, nålpositionering upp- och ned för att förflytta nålen manuellt, samt en knapp för att påbörja kalibrering av lastcellen. En statusruta som beskriver aktuellt tillstånd och information om kalibrering för lastcellen ingår.

Fyllningskärmen innehåller knappar för start, stopp, mikrodosering och paus av fyllning. Dessutom finns en visuell fyllningsindikator för att se hur mycket aktuella flaskan har fyllts, även ärvärdet i ml syns för enklare avläsning.

Sista skärmen som är inställningskärmen tillåter användaren att skriva in fyllningsparametrar som sedan skickas till arduino för bearbetning. Operatören kan skriva in volym, densitet, antal som ska fyllas, batch-nummer och sedan trycka bekräfta som i sin tur skickar parametrarna till mikrokontrollern. För att säkerställa att mikrokontrollern har läst av rätt parametrar, återkopplas de på en liten statusruta efter att man har bekräftat.

4.2.4.2 HMI och Arduino IDE

För att programmera HMI:ets funktioner på ett enklare sätt har ett arduino library från Nextions hemsida använts ”*ITEADLIB_Arduino_Nextion-0.7.0*”, vilket har förenklat programmeringen i arduino IDE.

Varje funktionell knapp i HMI har deklarerats i Arduino med hjälp av det tillagda biblioteket på följande vis: `NEXTTEXT "knappnamn" = Nextext('Sidnummer i HMI', 'Objekt-id i HMI', 'knappnamn')`.

För att mikrokontrollern skulle läsa knapparna vid tryck användes ännu en funktion ur Nextion biblioteket som programmerades på följande sätt: `NexTouch *nex_listen_list[] = { &knapp1, &knapp2 ..., NULL};`. Denna funktion körs konstant och lyssnar hela tiden efter knapptryck på HMI.

Utöver föregående kod, har även varje knapp en tillhörande funktion som aktiveras vid knapptryck: `void "knappnamn"PopCallback(void *ptr){"funktionkod"};` och `"attachPop"` funktioner som Callback funktionerna kopplas till vid en pop-händelse, dvs när användaren släpper knappen vid tryck i HMI. De programmerades på följande vis: `"knapp.attachPop(knappPopCallback, &knapp)";`

4.3 Strömförsörjning

För att säkerställa en stabil och säker strömförsörjning separerades låg- och högspänningskomponenterna. Arduinon försågs med ström via en mikro USB som fungerade som en strömförsörjning till resterande komponenter med 5V styrlogik. HX711 förstärkaren tillsammans med lastcellen använde totalt cirka 1.6 mA, Nextion 7" skärm använde cirka 510mA och SSR:et använde runt 10mA. Den totala strömförbrukningen blev därmed cirka 521,6mA vilket låg inom Arduinons maximala strömförsörjning, uppskattad till cirka 800mA. Servomotorn krävde upp till 800mA vid drift, vilket Arduinon inte kan leverera och behövde därför kopplas till en extra mikro USB för säker prestanda. 230 VAC pumpen isolerades via SSR:et och vid full drift förbrukades 240mA.

4.4 Konstruktion

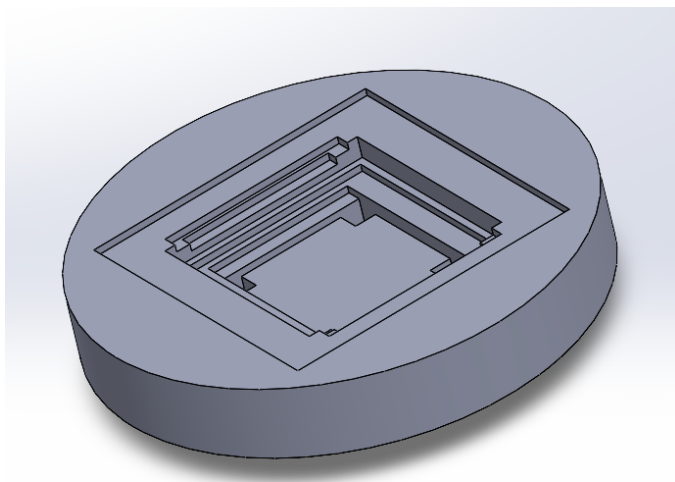
Konstruktionskapitlet redogör för vilken typ av material som har används vid konstruktionen av fyllningsmaskinen.

4.4.1 3D-printade delar

En hel del 3D-printade delar skapades i SolidWorks, både i testningsfasen och för den slutgiltiga konstruktionen. Alla delar var printade i olika färger men av samma PLA filament på Broccoli Engineering AB samt en privat 3D-printare.

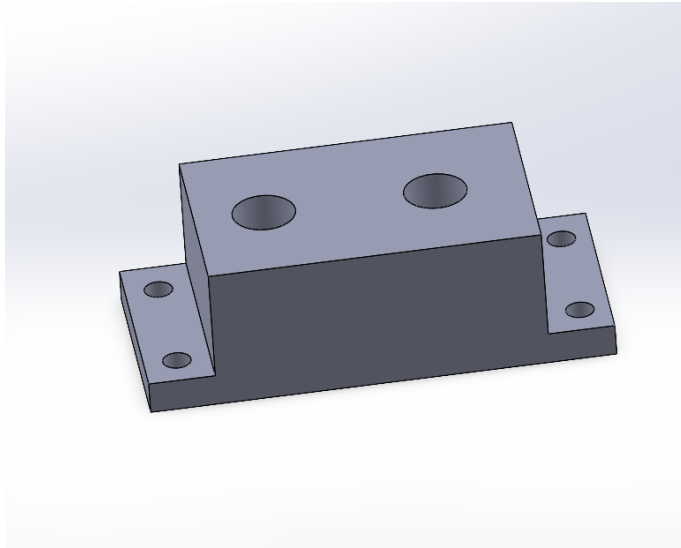
4.4.1.1 Våg

Eftersom alla flaskor hade varierande botten storlekar designades vågplattan med försänkning för varje flaskas storlek, se figur 4.1. Detta hjälpte att få halsen av flaskorna att bli centrerade till nålen.



Figur 4.1. Vågplatta

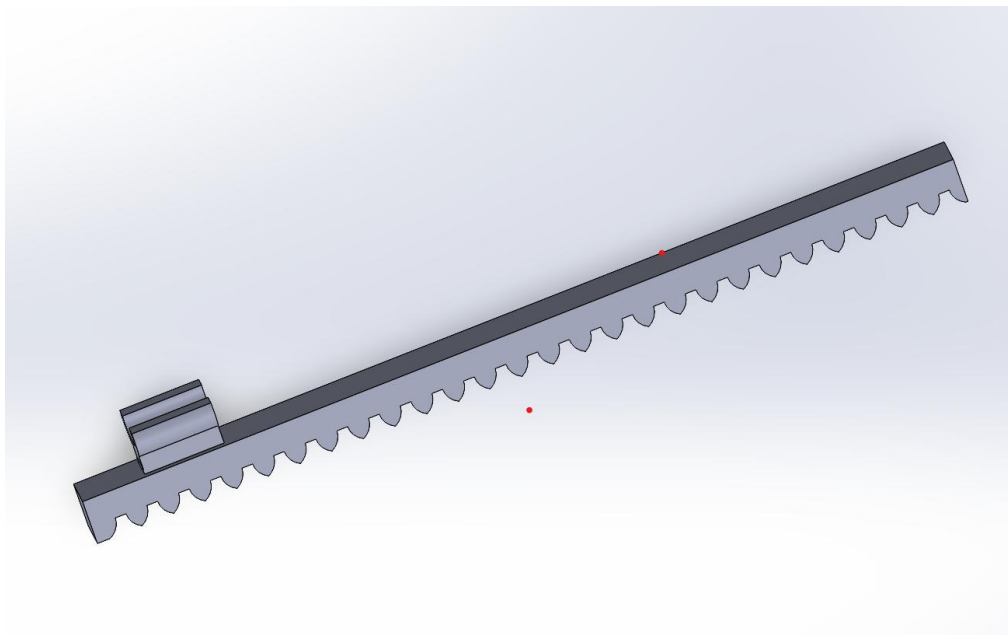
För att fästa lastcellen till plankan 3D-printades en fot som kunde fästas vid fyra punkter, se figur 4.2.



Figur 4.2. Lastcellsfoot

4.4.1.2 Injektionsmekanism

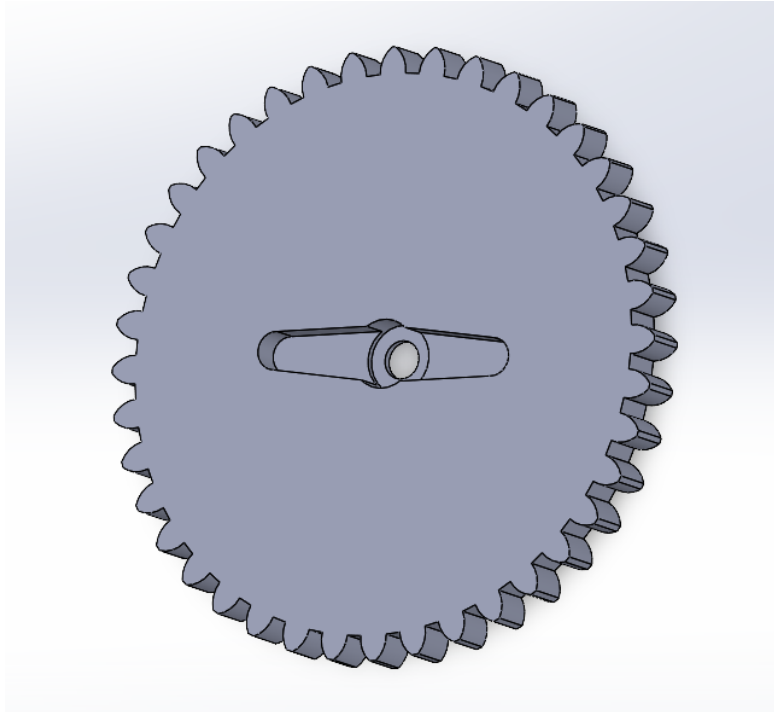
Kuggstången växlade den roterande rörelsen från servot till en linjär rörelse, se figur 4.3. Detta hjälpte att få ner nålen som hålls stabilt vid kanten av kuggstången för precision. Med en längd på "13,5" cm kunde nålen nå halsen av alla flaskor.



Figur 4.3. Kuggstång.

4.4.1.3 Kugghjul för servomotorn

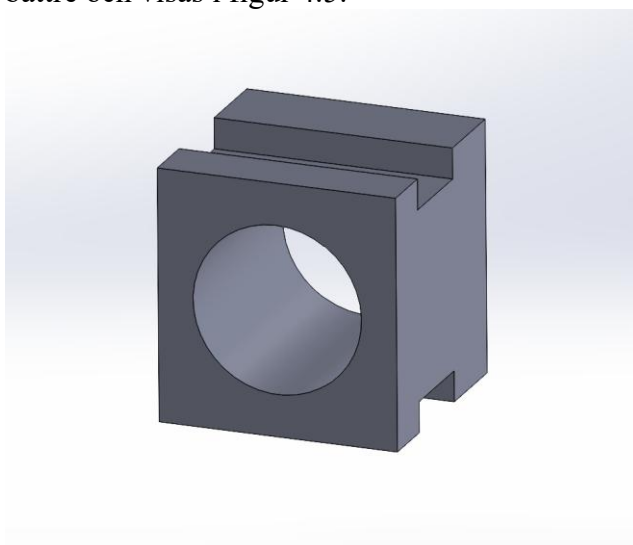
För att överföra rotationen från servot till kuggstången fästes kugghjulet i figur 4.4 genom profilen och skruvades fast genom hålet.



Figur 4.4. Kugghjul.

4.4.1.4 Slanghållare

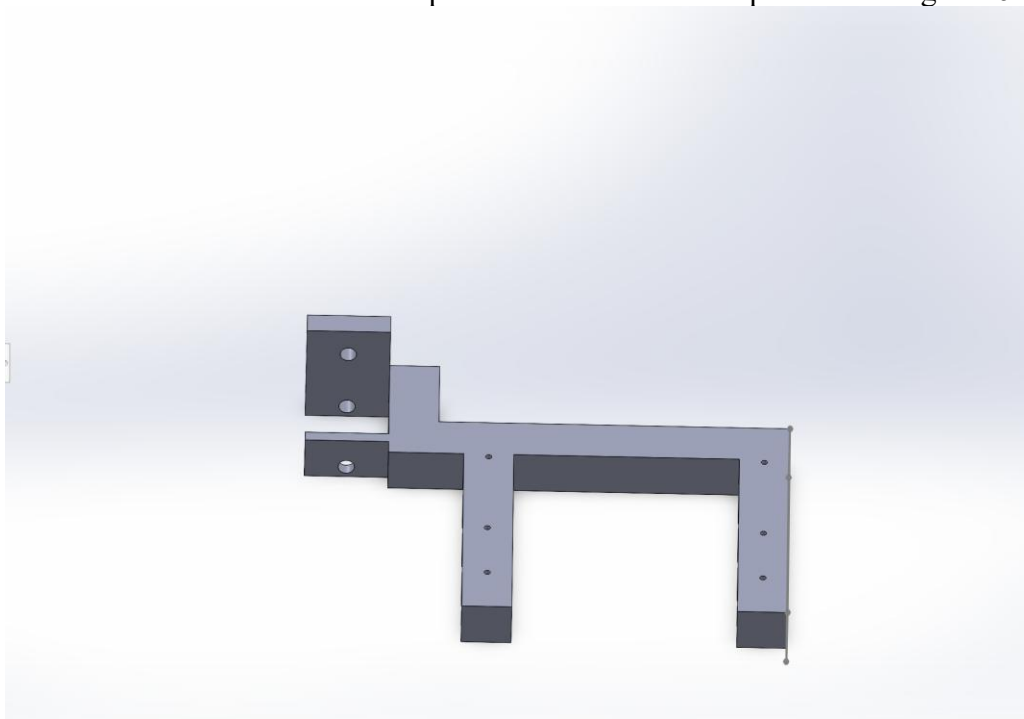
Vid tidig testning av pumpen märktes det att slangen i pumpen drogs in och sögs ut från ena sidan av pumpen under drift, detta berodde på att slangen satt löst i pumphuset. Detta löstes genom att printa slanghållare som enkelt kunde fästas i pumphuset och hålla fast slangen bättre och visas i figur 4.5.



Figur 4.5. Slanghållare för pumphuset

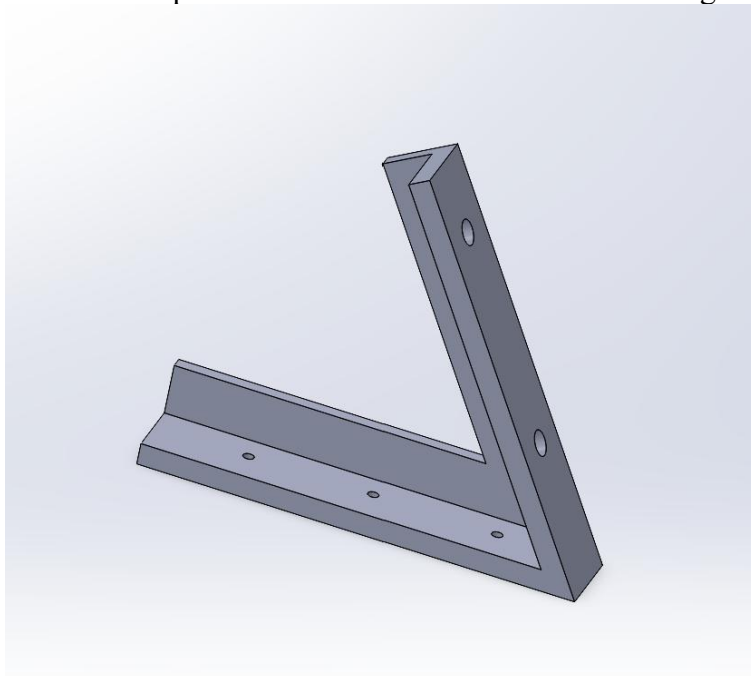
4.4.1.4 HMI

Ett hållarfäste som ska monteras på maskinens aluminiumprofiler. Se figur 4.6.



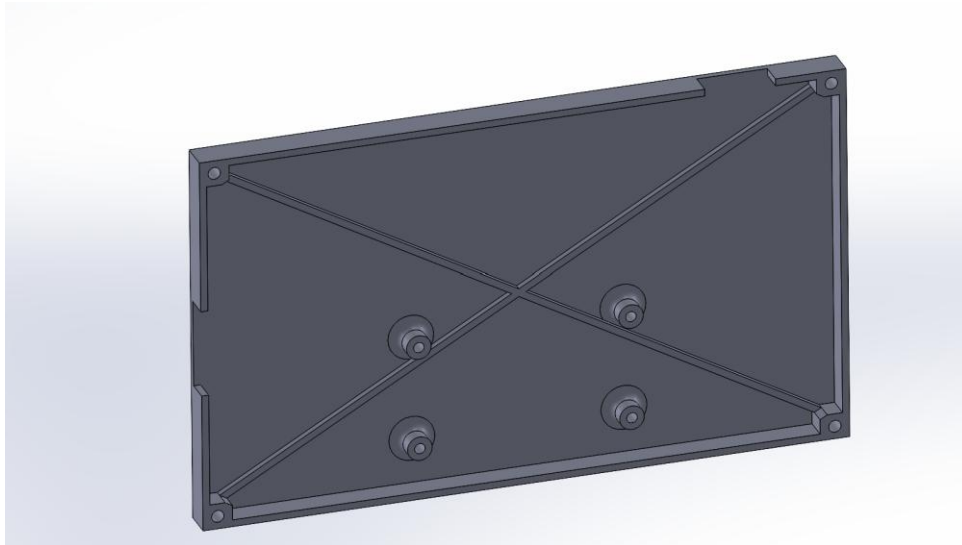
Figur 4.6. Hållarfäste för HMI.

För användarvänlighet skapades även två monteringsvinklar i 60 grader som bakre skärmfäste ska monteras på. Dessa fästs i hållarfästet och visas i figur 4.7.



Figur 4.7. Höger monteringsvinkel.

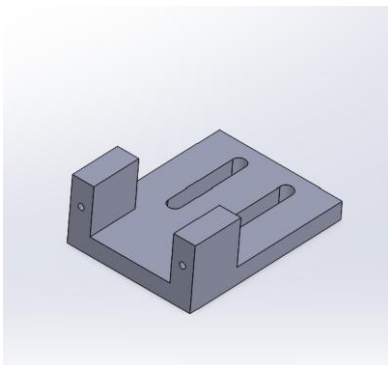
För att fästa HMI skärmen i de övriga komponenterna skapades ett bakre skärmfäste för att enklare placera in skärmen och fästa den på monteringsvinklarna. Se figur 4.8.



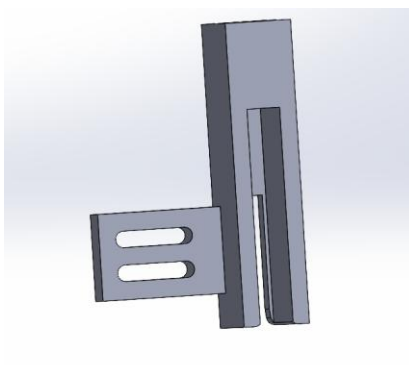
Figur 4.8. Bakre skärmfäste.

4.4.1.5 Monteringsfästen

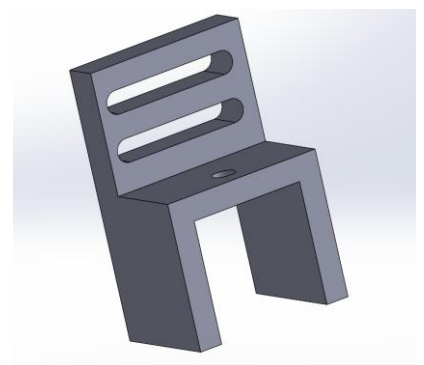
All monteringsfästen var designade för att kunna fästas i flera lägen i förhållanden till lastcellen. Dessa avlånga hål gjorde det enkelt att flytta både servo hållaren som syns i figur 4.9 och linjära växel hållaren i figur 4.10. Figur 4.11 visar fästet som hålls via chassit



Figur 4.9, Servohållare



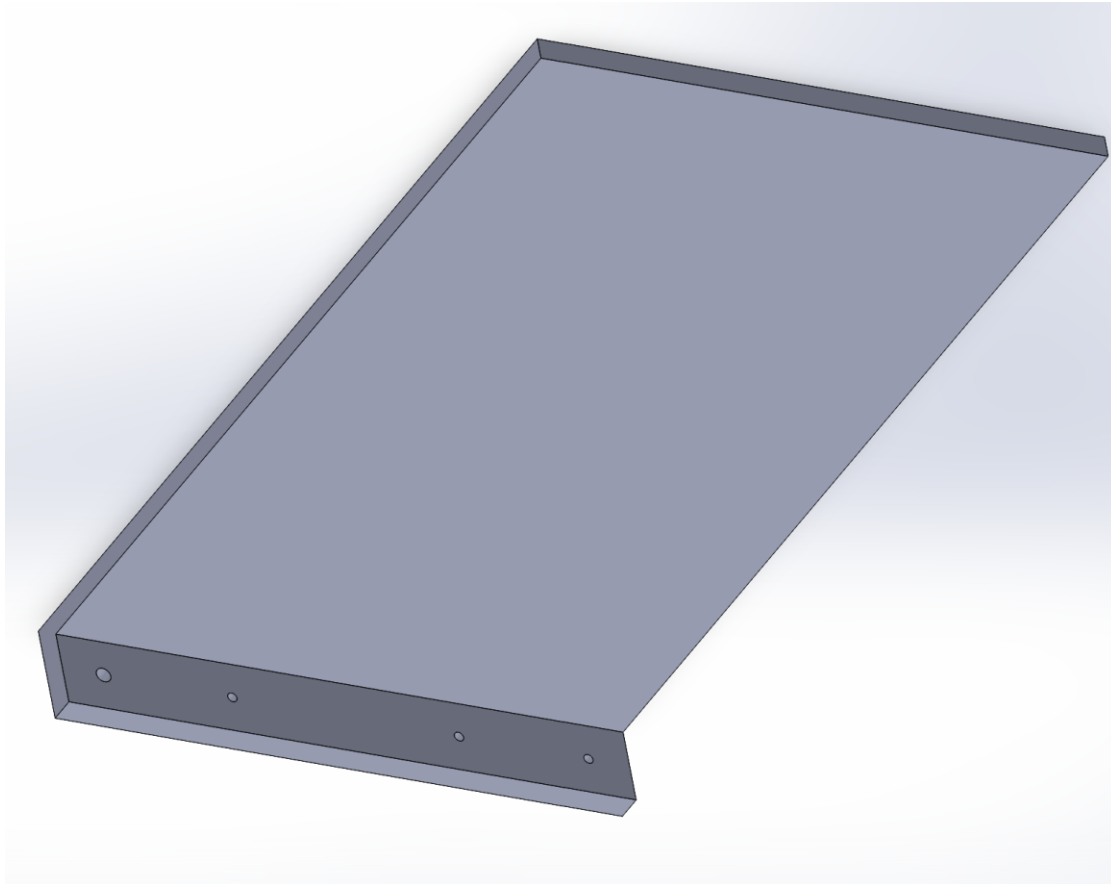
Figur 4.10, Kuggstångshållare



Figur 4.11, Chassit fäste.

4.4.1.6 Stänkskydd

För minimera risken att en överfylld flaska skvätter på en del av kretsen skapades ett stänkskydd.



Figur 4.12, Stänkskydd.

4.4.2 Konstruktionsmaterial

Utöver 3D-printade delar har det använts aluminiumprofiler för maskinens ram, samt en träskiva för att fästa fast ramen för mer stabilitet och möjlighet att enkelt kunna skruva fast ytterligare komponenter. Aluminiumprofilerna har sågats med en metallsåg och monterades ihop med vinklar och M4 skruvar.

För att ha en jämnare fyllning, köptes även fyllningsnålar utav rostfritt stål.

4.5 Slutlig Maskinkonstruktion

Det färdiga resultatet är en komplett fyllningsmaskin med tillhörande HMI. Konstruktionen består av aluminiumprofiler i kombination med 3D-printade komponenter, vilket visas i figur 4.13. Systemet inkluderar en fullt integrerad pumpstyrning med återkoppling för en noggrann och kontrollad fyllningsprocess.



Figur 4.13, Översikt av maskinen.

5. RESULTAT

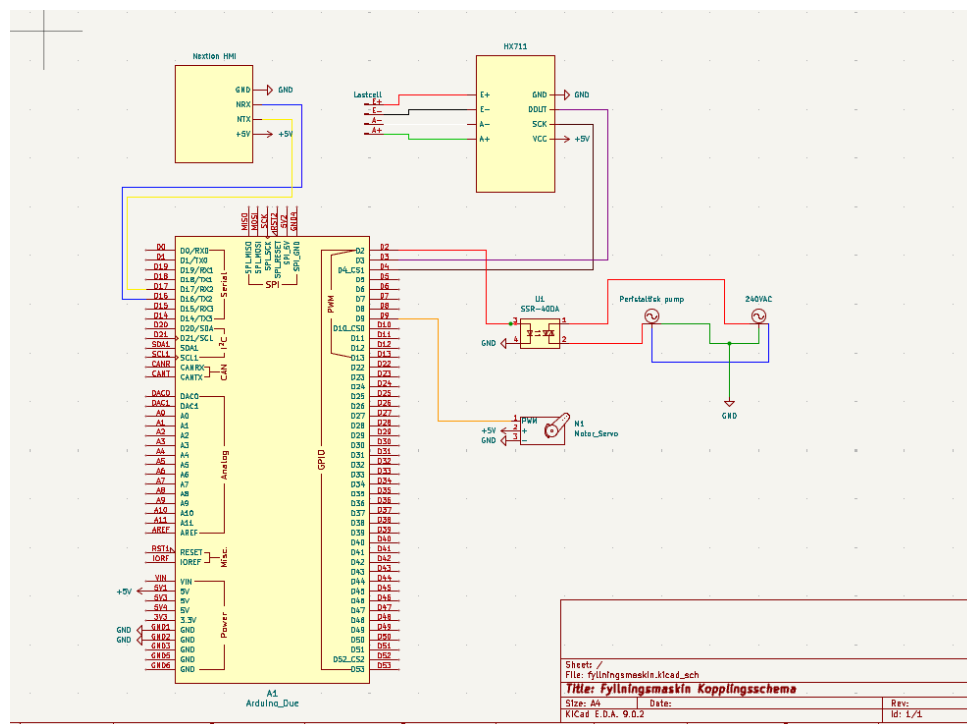
I detta kapitel redogörs maskinens funktionalitet och fyllningsresultat. Inledande testning och finjustering utfördes med vatten och därefter med andra vätskor av varierande viskositet.

5.1 Funktionalitet

Fyllningsmaskinen genomförde fyllning av flaskor upp till 100ml enligt förväntningarna. Mikrokontrollerna samarbetade mestadels felritt med HMI, förutom de få gångerna parametrarna inte lästes in korrekt. Genom HMI kunde användaren starta, stoppa, pausa och mikrodosera fyllningsprocessen med knappar. Även kalibreringsfunktioner för lastcellen och fyllningsnålen fanns tillgängliga och fungerade bra i HMI:et. Tydliga larm i form av text kunde avläsas från HMI:et. Dessutom kunde fyllningsparametrar ställas in genom HMI. Vid start av fyllning aktiverades servomotorn som anpassar höjden av fyllningsnålen baserat på flaskvolym på ett korrekt sätt. Lastcellen gav korrekt återkoppling till pumpstyrningen och aktiverade mikrodoseringsfunktionen och avbröt fyllningen automatiskt när målet var uppnått. Maskinen klarade av över 40 fyllningar i följd. Vid längre fyllningar med högre volymer, noterades att pumpmotorn blev väldigt varm, däremot påverkades inte fyllningsfunktionen.

5.2 Systemöversikt

I figur 5.1 visas kopplingschemat för hela systemet. Systemet styrs av en Arduino Due mikrokontroller som drivs med 5V från en USB-port och i sin tur ger ström till HMI-skärmen, och lastcellsförstärkaren. Servot har en egen strömförsörjning via en annan USB-port för att minska störningar hos mikrokontrollen. Arduinon skickar signaler för styrning av reläet som aktiverar pumpen. Pumpen matas direkt med 230V växelström genom SSR:et.



Figur 5.1. Kopplingschemat för fyllningsmaskinen.

5.3 Fyllningsresultat vid testning med vatten

Till en början användes vatten för att genomföra fyllningstester och för att finjustera kod för mer precis fyllning. Tre tester och justeringar genomfördes innan resultaten var tillfredsställande. Vid testning användes tillhandahållna flaskor av Broccoli Engineering i volymerna 6ml, 8ml, 10ml, 15ml och 100ml, se figur 5.2.



Figur 5.2. Flaskor för nagellack och oljor.

För att säkerställa att fyllningsmängden enligt lastcellens återkoppling överensstämde med verkliga fyllningsmängden, kontrollvägdes flaskorna innan och efter fyllning med hjälp av en extern våg. Varje flaska testades 10 gånger och en genomsnittlig procentuell avvikelse beräknades.

5.3.1 Fyllningsresultat från första testet

Maskinen testades kontinuerligt vid utvecklingsfasen och när maskinen klarade av att fylla ett fåtal flaskor, påbörjades ett mer utförligt test för olika volymer.

(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avvikelse
6	5,79	5,76	5,84	5,82	5,78	5,82	5,81	5,79	5,83	5,79	-3,35%
8	7,77	7,69	7,64	7,63	7,71	7,64	7,67	7,68	7,66	7,66	-4,0625%
10	9,75	9,73	9,48	9,66	9,54	9,69	9,60	9,58	9,59	9,76	-3,63%
15	14,7	14,46	14,44	14,48	14,51	14,40	14,61	14,69	14,51	14,55	-3,1%
100	97,78	97,78	97,73	97,63	97,71	97,83	97,84ml	97,6	97,76	97,69	-2,266%

Tabell 5.1. Fyllningsresultat från första testet med vatten.

5.3.2 Fyllningsresultat från andra testet

En förbättring som infördes inför det andra testet var en funktion som avbryter fyllningen vid ett visst procentuellt ärvärde, i stället för att alla slutade vid 98% av börvärdet. Funktionen delade upp när fyllningen skulle avbrytas baserat på flaskvolymen, volymerna delades upp i tre olika grupper baserat på mängd och hade unika procentuella ärvärden för när fyllningen skulle avbrytas.

(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avvikelse
6	6,01	6,00	6,04	6,01	6,05	6,12	6,09	6,01	5,99	6,06	0,6333%
8	8,05	7,99	7,87	8,07	7,97	7,97	7,96	8,07	8,00	7,97	-0,1125%
10	10,11	10,05	10,03	10,05	9,97	10,02	10,07	9,89	10,02	10,00	0,21%
15	14,97	14,96	14,95	14,90	14,82	14,80	14,90	14,75	14,82	14,77	-0,9067%
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 5.2. Fyllningsresultat från andra testet med vatten.

I detta test skippades fyllningen av 100ml flaskorna då de ansågs som onödiga eftersom ändringar av fyllningsfunktionerna var planerade i det stadiet.

5.3.3 Fyllningsresultat från tredje testet

Inför tredje testet infördes en förbättrad mikrodoseringsfunktion som startades när en flaska uppnått en viss mängd av börvärdet, för att sedan pumpa små doser av vätska för att säkerställa att de fylls så nära börvärdet som möjligt.

(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avvikelse
6	5,94	6,01	5,98	5,97	5,99	6,05	6,05	6,0	5,96	5,98	-0,1167%
8	8,00	7,98	7,96	7,98	7,99	7,96	7,98	8,00	8,00	7,94	-0,2625%
10	9,98	9,98	9,99	9,93	9,97	10,05	10,07	10,04	9,93	9,99	-0,07%
15	14,97	14,94	14,98	14,98	14,95	14,99	15,00	14,95	15,01	14,94	-0,1933%
100	99,98	100,0	99,96	99,9	100,0	100,0	99,94	99,97	99,94	99,95	-0,029%

Tabell 5.3. Fyllningsresultat från tredje testet med vatten.

5.4 Fyllningsresultat vid testning av andra vätskor

Ytterligare testning gjordes för att säkerställa att maskinen kan fylla olika typer av vätskor. Vätskorna som testades hade varierande viskositet och densitet.

5.4.1 Fyllningsresultat med proteinpulverblandning

En blandning bestående av proteinpulver och vatten blandades i testnings syfte för att se ifall maskinen kan hantera en tjockare vätska. Den färdiga blandningen beräknades att ha en densitet på 1,16 g/ml.

(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avvikelse
6	5,95	5,95	5,00	5,95	5,99	5,96	5,98	5,96	5,96	5,98	-0,5333%
8	7,93	8,02	7,97	7,96	7,97	7,98	7,97	7,95	7,99	8,01	-0,3125%
10	9,99	9,98	9,99	9,93	9,93	9,91	9,92	9,90	9,98	10,02	-0,45%
15	15,00	15,04	14,96	15,09	15,05	14,95	14,93	15,04	14,95	14,97	-0,0133%
100	100,00	99,93	99,96	99,91	99,98	99,98	99,93	99,94	99,91	99,97	-0,049%

Tabell 5.4. Fyllningsresultat från testfyllning med proteinpulverblandning.

5.4.2 Fyllningsresultat med isopropanol

Maskinen testades även för vätskefyllning med isopropanol som är mindre viskös än vatten och har en lägre densitet. Isopropanol har en densitet på 0,786 g/ml. Inför detta test förbättrades koden för mikrodosering att i stället börja mikrodosera de sista dropparna vid 2 ml innan börvärdet är uppnått. Tidigare mikrodoseringsfunktion började mikrodosera vid olika procentuella ärvärden. Detta skapade en mer precis och smidigare fyllningsprocess.

(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Avvikelse
6	6,02	6,04	6,06	6,01	6,02	6,07	6,11	6,0	5,99	5,99	0,51667%
8	7,97	8,07	8,09	8,0	7,92	7,97	8,00	8,01	7,95	7,94	-0,1%
10	10,0	9,98	10,04	9,94	10,0	10,05	9,93	9,93	10,06	9,95	-0,12%
15	14,94	14,98	15,00	15,07	14,97	15,0	14,96	14,96	14,94	14,9	-0,14%
100	99,96	99,95	99,93	100,07	99,9	99,92	99,99	99,92	99,93	100,02	-0,041%

Tabell 5.5. Fyllningsresultat från testfyllning med isopropanol.

6. SLUTSATS OCH DISKUSSION

I detta avsnitt redovisas slutsatser och erfarenheter från arbetet.

6.1 Utvärdering av fyllningsresultat

Målet med detta arbete var att uppnå en fyllningsprecision på $\pm 0,5\%$ vid fyllning av vätskor mellan 0-100ml. För att se till att testresultaten är relevanta har testerna gjorts med flaskor som företaget använder sig av i sin nuvariga produktion. Dessa volymer är 6ml, 8ml, 10ml, 15ml och 100ml. Testningen påbörjades med att fylla flaskorna med vatten och därefter testades ytterligare två andra vätskor för att se hur precist maskinen fyller vätskor av varierande viskositet. Mellan varje test har fyllningsfunktioner förbättrats och finjusterats för att få mer precisa resultat. Första testfyllningen med vatten misslyckades maskinen att ha en precision på $\pm 0,5\%$ på samtliga volymer. I många fall berodde detta på att maskinen slutade sin fyllning långt innan den hade uppnått sitt börvärde. Anledningen till att maskinen slutade fylla tidigt var för att säkerställa att de olika flaskorna inte överfylls. Vid tidiga test noterades det att pumpen inte stannade precis när börvärdet var uppnått, vilket resulterade i att flaskorna överfylldes. På grund av detta infördes en funktion som stoppar pumpningen vid 98% av börvärdet för att kompensera för de extra dropparna.

Däremot fungerade inte det att stoppa fyllningen vid 98% för alla flaskor, därför behövdes fyllningsfunktionen justeras. Inför det andra testet infördes en funktion där stoppvärdet i procent anpassades utifrån flaskvolymen. Genom detta kunde man dra ned tiden för fyllningen och öka precisionen, mindre volymer slutade fyllas tidigare vilket ledde till högre precision och större volymer kunde fyllas längre för att fylla närmre börvärdet. Resultaten för andra fyllningstesten hade förbättrats markant jämfört med det första, däremot var vissa volymer fortfarande utanför en godkänd tolerans. Fyllning för 100ml flaskor uteslöts på det andra testet då det både var tidkrävande och överflödigt, då fyllningsfunktionen var beslutad att omarbetas.

Inför det tredje testet implementerades en förbättrad mikrodoseringsfunktion som påbörjades när flaskorna hade uppnått 98% av sitt börvärde, denna gjorde att vätskan doserades med små frekventa droppar tills att börvärdet var uppnått. Trots denna funktion gick det inte att säkerställa att flaskorna uppnådde det exakta börvärdet, däremot var avvikelserna godkända för samtliga flaskvolymer.

Eftersom varje flaskvolym för vatten var inom toleransen på $\pm 0,5\%$, påbörjades testning med andra typer av vätskor för att se hur maskinen fyller vätskor med varierande densitet och viskositet. En proteinpulverblandning med vatten testades för att se om maskinen har förmågan att fylla mer viskösa vätskor. Denna blandning beräknades att ha en densitet på 1,16g/ml och observerades att vara mer viskös än enbart vatten. Maskinen lyckades fylla alla flaskor utan överspill och inom tolerans, förutom den minsta flaskan med volym på 6ml, där avvikelserna blev $-0,5333\%$, vilket är $0,0333\%$ utanför toleransen. Detta är däremot en marginell avvikelse så att varken vägen känner av skillnaden eller att det kan observeras med blotta ögat. Liknande resultat kunde erhållas från testet med isopropanol som också hamnade strax utanför toleransen för de minsta flaskorna. Det annorlunda med isopropanol är att det är mindre visköst än vatten och har en densitet på 0,786 g/ml.

De flesta testresultaten tenderade att ligga nära den nedre toleransgränsen, det beror på att funktionerna slutar fylla innan de helt uppnår sitt börvärde. Anledningen är för att säkerställa

att flaskorna inte överfylls och ingen vätska går åt spillo. Skulle man vilja toppa av flaskorna med mera vätska, finns det en mikrodoseringsknapp i HMI som kan tryckas för att fylla på med en droppe per knapptryck.

6.2 Säkerställning av korrekt fyllning

En del oväntade problem har kommit upp vid testningen av maskinen, och har åtgärdats på olika sätt beroende vilken typ av problem det har varit.

6.2.1 Slangen drar sig ut ur pumphuset vid pumpning

Vid tidig testning av pumpen noterades att slangen som går igenom pumphuset dras med ut åt ena hållet vid pumpning, vid längre körning kan detta innebära att slangen åker helt ut ur pumpen och slutar fungera. Det märktes även att det var ganska stort utrymme mellan slangen och hålen i pumphuset som slangen går genom. Detta resulterade i att slangen satt lös i pumphuset och troligtvis drogs med pumpens tryckrullar vid pumpning.



Figur 6.1. Pumphuset underifrån utan slanghållare.

För att se till att slangen hålls ordentligt på plats, beslöts det för att skapa slanghållare för in- och utgångarna i pumphuset i SolidWorks och 3D-printa. Resultatet blev små slanghållare som kunde direkt skjutas in i pumphuset för enkel montering.



Figur 6.2. Pumphuset med monterade slanghållare.

Slanghållarna har vid testning fungerat som de ska och sett till att slangen inte förflyttas i samband med pumpning.

6.2.2 Felmätningar

Det är svårt att garantera att mätresultaten är helt korrekta på grund av ett flertal anledningar. Lastcellen och HX711-förstärkaren som användes levererades utan dokumentation eller serienummer, vilket har försvårat identifiering. Detta kan möjligtvis lett till att inte det mest optimala arduino-biblioteket har använts för programmering av mätfunktioner och kalibrering. Eftersom inga specifikationer har medföljt är det svårt att säkerställa lastcellens känslighet vid mätningar, däremot har det i detta fall ändå fungerat relativt bra. Om fyllningsmaskinen skulle byggas om kan det vara rekommenderat att välja en tillförlitlig återförsäljare av lastceller med dokumenterad kvalitet och specifikationer.

Vid mättester användes en extern precisionvåg för att se ifall fyllningsmängden överensstämde med den verkliga fyllningsmängden. Däremot kan inte denna vågens tillförlitlighet att garantera då även den kommer från en lågprismarknad där oftast kvalitén inte är i fokus. Det noterades även att mätvärden på denna vågen kunde fluktuera med några decimaler, trots att ingen förändring av lasten har skett.

Mätmetoden vid testningarna hade vissa begränsningar och kunde göras på ett bättre och mer utförligt sätt. Vid testning var det vanligt att flaskorna vägdes en gång i förväg och därefter jämfördes efter fyllning ifall den nya vikten motsvarade vätskemängden. Efter varje vägning tömdes flaskan och skakades ur, däremot går det inte garantera att det inte har bildats en hinna på insidan eller att några droppar finns kvar som ger en avvikelse med ett par decimaler vid mindre och mer känsliga volymer. En bättre metod vore att väga flaskan varje gång innan fyllning och sedan jämföra med slutvikten.

En positiv fördel när det kommer till fyllningsfunktionen och lastcellen är att när flaskan placeras så nollas vikten på lastcellen och mäts från 0 gram, på så vis kan man få noggranna mätresultat.

6.2.3 Hantering av luftbubblor

Hantering av luftbubblor har inte utvärderats i noggrann detalj då inga luftbubblor har uppkommit vid testning, däremot har det gjorts enstaka förbättringar för att minimera risken för oönskade luftbubblor. Genom att ha en injektionsmekanism med nål som anpassar sig till flaskhöjden har man kunnat se till att fyllningen sker nära flaskan och vätskeytan för att minimera risken för att luft ska blandas in under fyllningsprocessen.

Inga utförliga mätningar av luftbubblor har gjorts men lyckligtvis har inga överfyllda flaskor observerats på grund av bubblor som tränger ut vätskorna.

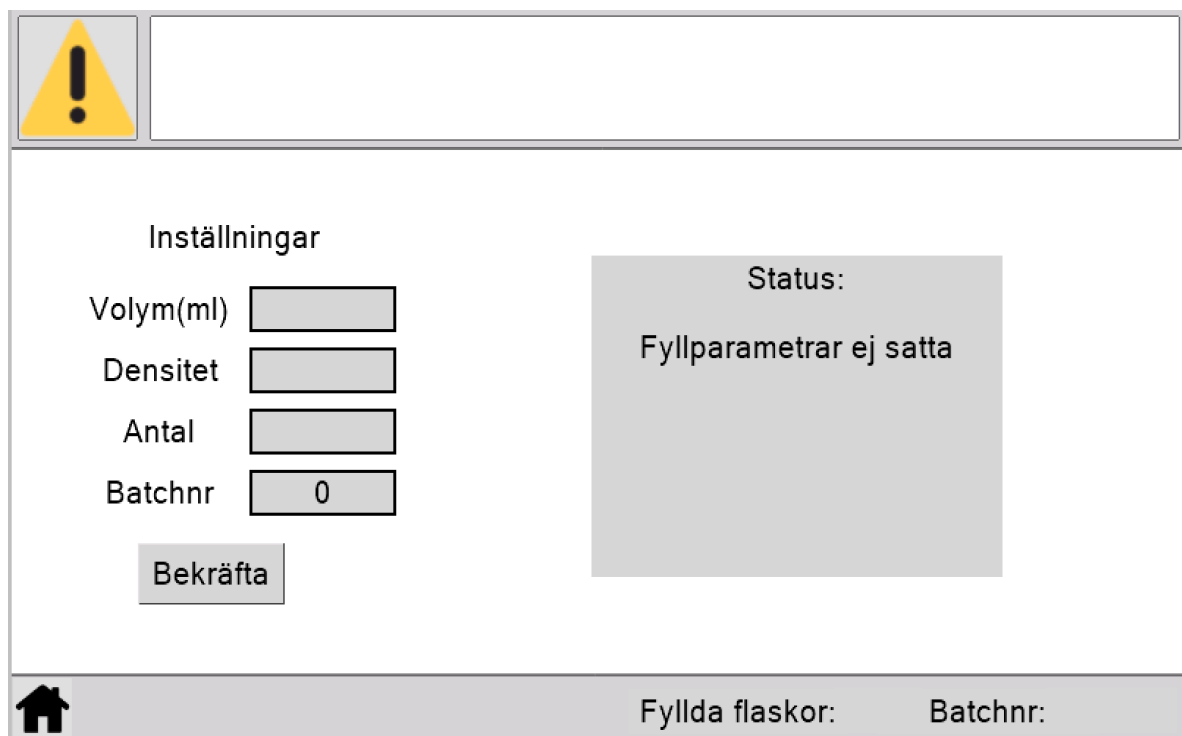
6.3 Design och utveckling

Här redogörs hur maskinen har utvecklats när det gäller användarvänlighet och uppfylla särskilda fyllningsfunktioner.

6.3.1 Användargränssnitt

HMI designades för tydlighet och enkel användning. Vid uppstart av fyllningsmaskinen introduceras man till startskärmen som har en enstaka knapp för att ta sig till huvudmenyn, därifrån kan användaren se stora och tydliga knappar som leder till de andra menyerna t.ex. kalibrering, fyllningsinställningar, etc. För att snabbare få information visas aktuella larm, antal fyllda flaskor och batch nummer på alla menyer. En gråskalig färgton har används för menyer och knappar för att inte vara visuellt distraherande. För att ge användaren återkoppling vid knapptryck blir knapparna gröna när de trycks in. Vid vissa tillfällen märktes en bugg vid inskrivningen av fyllningsinställningar. Arduinofunktionen som läser av de inmatade värdena kunde ibland blanda dem eller helt och hållet ignorera att spara dem, för att säkerställa att arduinon på ett korrekt vis hanterat fyllningsinställningarna, har en statusruta implementerats i fyllningsinställningar-menyn som skriver vilka värden som mikrokontrollern har sparat.

För enklare navigering inom HMI:et, infördes standartiserade knappar i form av ikoner på varje sida, dessa var en "hus"-ikon och en "varningstriangel"-ikon. Genom att trycka på hus-ikonen förs man över till huvudmenyn och om man trycker på varningstriangeln, hamnar man i larmmenyn, där man har möjlighet att kvittera alla larm.



Figur 6.3. Fyllningsinställningar-meny från Nextion HMI.

Maskinen har totalt tre larm, varav två utlöses direkt vid uppstart av maskin. Dessa larm är "Fyllparametrar ej satta" och "Vågen ej kalibrerad". Detta är för att säkerställa att alla viktiga saker är genomförda inför en fyllning. Det sista larmet dyker upp när det angivna antalet flaskor är fyllda i form av "Alla flaskor fyllda!", flaskantalet ställer användaren in i fyllningsinställningar-meny.

6.3.2 Säkerställa kundnöjdhet

När det kommer till en färdigställd konsumentprodukt är kundnöjdhet en viktig faktor att ta hänsyn till. Därför är det viktigt att säkerställa att slutprodukten är visuellt tillfredställande. Flaskorna som används vid fyllning kan i vissa fall variera i hur mycket de kan fyllas, trots att volymen är angiven på flaskorna. Detta innebär att de kan visuellt se ut att vara ojämnt fyllda, men egentligen beror det på att vissa flaskor rymmer mer än angivet. För att säkerställa att kunden blir nöjd, har det införts en mikrodoseringsfunktion som fyller på flaskan med en droppe vätska per knapptryck. Detta gör att användaren kan toppa upp flaskan med några droppar extra för att se till att vätskemängden i flaskan är tillfredställande.

6.4 Potentiella förbättringar

I denna del diskuteras eventuella förbättringar möjligheter för maskinen som har diskuterats under projektets gång.

6.4.1 Flaskpositionering och injicering

Nuvarande lösning är att ha en platta som med hål placerade för de olika flasktyperna. En potentiell förbättring skulle kunna vara att hålla flaskhalsarna i stället. På grund av de mindre varierande storlekarna skulle en hållare kunna designas. Hypotetiskt skulle detta kunna leda till en smidigare injicerings metod genom att göra distansen mellan flaskorna och nålen i princip samma. Detta skulle kräva något mer flexibelt och robust material eller någon klo liknande mekanism som både kan hantera vikten av flaskorna tomma samt fyllda. Ingen effektiv lösning hittades under detta projekt fast med mer tid finns det potentiella möjligheter.

För att minska ännu mer spill hade en mer dynamisk injicerings varit en lösning. Genom att följa vätskenivån i flaskan och positionera nålen precis över ytan hade det varit mindre skvätt för flaskor med en större hals. I detta projekt var öppningen för halsarna relativt smala vilket eliminerade problemet.

6.4.2 Återkoppling

Tidigt i projektet diskuterades gällande maskinens återkoppling. Den nuvarande lösningen är lastcellen som mäter precis vikten, detta kan dock vara ett problem då den inte kan avgöra om vätskan som pumpas endast stannar i flaskan eller överfyller. Optiska sensorer togs fram som förslag för att men ansågs vara svåra att implementera då de skulle behöva monteras vid nålen eller halsen av flaskorna. Båda sätten ansågs vara klumpiga och påverka prestandan negativt. Med hjälp av en optisk sensor hade det varit lättare att säkerställa att flaskorna ser fulla ut och vid fall där flaskorna har mindre eller mer volym än förväntad.

6.4.3 Drift i annat klimat

Från tidigare erfarenheter har det upplevts att de pumpade vätskorna i kallare temperaturer varit stelare och mer trögflytande. Det har lett till problem vid fyllning som att vätskan inte lägger sig helt i flaskorna vilket skapar luftrum som tar plats. Dessa luftrum hade givit en fel läsning av från lastcellen och ledat till överfyllning samt ökat spill av vätskan.

6.4.4 Kylning av pump

Under testning märktes att pumpen blev ovanligt varm vid kontinuerlig fyllning av 100ml-flaskan. Efter ungefär fyra fyllningar steg temperaturen hos pumpmotorn till en nivå där den behövde stoppas tillfälligt för att svalna för att undvika överhettning och eventuellt slitage. En förbättringspunkt för att möjliggöra längre drift med större flaskstorlekar är att införa ett förbättrat kylningssystem kring pumpmotorn. Ett aktivt kylsystem som en fläkt och kylfläns fästad på chassit skulle öka värmeavledning som leder till en ökad driftstid. Detta förbättrar både prestandan samt livslängden på motorn generellt.

6.6 Hållbar Utveckling och Etik

Projektet har genomförts med ett medvetet fokus på resurshantering och minskad miljöpåverkan. Genom att aktivt återanvända befintliga komponenter från Broccolis inventarielager har mängden inköpta komponenter minskat. Detta har minskat projektets miljöavtryck genom att minska onödig frakt och totala utsläpp. I de fall där nya delar behövs har 3D-printing använts som ett hållbart alternativ istället för att köpa specialtillverkade komponenter från externa leverantörer. Detta hjälpte att anpassa designen efter de exakta specifikationer och maskinensfunktioner.

Att utveckla mer automatiserade lösningar är ett steg framåt till ett mer hållbart och resurseffektivt samhälle. Att ersätta manuella och repetitiva arbetsmoment med automatiserade system kan produktflöden och arbetsprocesser effektiviseras och kvaliteten jämnas ut. Detta minskar risken för mänskligt fel och optimerar resursanvändning. Dessutom leder det till fler möjligheter att omfördela kompetenserna av de anställda och utöka arbete kring underhåll och operation av maskinerna. Automatisering kan därför inte endast ses som en teknisk lösning utan mer en del av en långsiktig strategi för en mer hållbar utveckling för att bemöta miljömässiga och sociala utmaningar.

6.7 Slutsats

Avslutningsvis visar detta arbete att det är möjligt att utveckla en fyllningsmaskin med en fyllningsprecision på 0,5% av flaskstorleken i volymerna 6 - 100 milliliter. På grund av hur flaskorna är producerade kan det variera visuellt hur mycket flaskorna är fyllda.

I dessa fall är det möjligt att manuellt fylla med små doser tills flaskan anses godtyckligt full. Vid fyllning pumpas vätskan snabbt till den uppnår en volym på 2ml innan börvärdet, därefter pulseras droppar för att nå börvärdet. Detta gör att lastcellen kan konstant väga vätskan och se till att volymen uppnår börvärdet och inte överfylls.

Luftbubblor vid fyllning ansågs inte vara ett problem utav de testade vätskorna men för att säkerställa att de inte påverkar skulle en mer omfattande undersökning behövas.

REFERENSER

- [1] J. Klespitz and L. Kovacs, "Peristaltic pumps — A review on working and control possibilities," in 2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Herl'any, Slovakia, pp. 191–194, 2014. doi: 10.1109/SAMI.2014.6822404. [Online]. Available: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=e3c02b73-2710-3e40-a93d-24fccc84e33f>, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [2] M. Z. Ur Rahman, M. S. Shabbir, M. Hassan, M. ul Hassan, H. Ahmad, and A. Waleed, "Stepper-based Precise Paper Cutting Machine with PLC and HMI," in *2024 Horizons of Information Technology and Engineering (HITE)*, 2024, pp. 1–7. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/HITE63532.2024.10777152>, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [3] M. R. Idris, M. N. Irdyanti, M. Ramlee, "A Review of Microcontroller Design In Future Industrial Revolution" in AIP Conference Proc. pp. 01-02, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1063/5.0149679>, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [4] OMRON Corporation "Technical Explanation for Solid State Relays," OMRON Industrial Automation, [Online]. Available: <https://www.ia.omron.com/support/guide/18/introduction.html>, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [5] V. A. Kamble, V. D. Shinde, J. K. Kittur, "Overview of Load Cells", *Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, vol. 6, no. 3, pp, 22, 09. -12. 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/355370308_Overview_of_Load_Cells, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [6] Avia semiconductor, "HX711 – 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weight Scales," Datasheet, Electrokit, [Online]. Available: https://www.electrokit.com/upload/product/41016/41016232/hx711_english.pdf, [Accessed: Apr. 19, 2025].
- [7] A. M. T. I. Al-Naib, "Servo Motors," [Online]. Available: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.18997.79844>, [Accessed: May. 5, 2025].
- [8] Heschen, "SSR-40DA Solid State Relay," Heschen Products, [Online]. Available: <https://heschen.com/products/ssr-40da>, [Accessed: Jun. 23, 2025].
- [9] HT Sensors Technology CO, "TAL221 Miniature Load Cell" Datasheet, Electrokit, [Online]. Available: <https://www.electrokit.com/upload/product/41018/41018972/TAL221.pdf>, [Accessed: Jun. 23, 2025].
- [10] Nextion, "NX8048T070" Datasheet, Nextion Tech, [Online]. Available: <http://nextion.tech/datasheets/nx8048t070/>, [Accessed: Jun. 23, 2025].

[11] Luxorparts, "SG90 Micro Servo" Datasheet, Kjell, [Online]. Available: https://www.kjell.com/globalassets/mediaassets/701916_87897_datasheet_en.pdf?ref=4287817A7A, [Accessed: Jun. 23, 2025].

[12] Arduino, "Arduino DUE", Arduino Store, [Online]. Available: https://store.arduino.cc/products/arduino-due?srltid=AfmBOooozRqFVjs6lzulQR3y_3htDlphd_e-bBUL_QnGcuAq-5tK8oBg, [Accessed: Jun. 23, 2025].

BILAGOR

Kravspecifikation för fyllningsmaskin		
Krav	Beskrivning	Verifiering
HMI-Panel		
Start/Stopp-knapp	Startknapp som påbörjar fyllning samt en knapp som stoppar fyllningen	Funktionstestning/visuellt
Driftstatus	Visa maskinens driftstatus (underhåll/påfyllning/larm) etc.	Funktionstestning/visuellt
Statistik	Visa antalet påfyllda flaskor och batch nr.	Visuellt
Inställning av fyllningsparametrar	Möjligheten att ställa in parametrar som densitet och flaskvolym	Funktionstestning/visuellt
Hastighetsfunktion	En inställning som kan ändra maskinens påfyllningshastighet för att kunna säkerställa att de sista dropparna fylls	Funktionstestning/visuellt
Underhållsfunktion	En funktion som tömmer pumpen och gör maskinen redo för underhåll	Funktionstestning
Pump		
Precision	Fyllningen ska ha en precision på 0.5%	Funktionstestning
Fyllning	Flaskor med volymer mellan 5-100ml ska fyllas	Funktionstestning
Lastcell		
Återkoppling	Lastcellen ska kunna återkopplas till pumpen för verifiering	Funktionstestning