

# Måling og merking av individuelle tømmerstokker i produksjon

*Hvordan implementere en enkel, kontinuerlig og ikke-invasiv metode for å ta et lengdemål av  
trestokker og sende data til en ekstern computer.*

Anders Fremstad Solli, David Wold Weiseth og Sondre  
Haukaas Ødegaard

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - Maskin  
Innlevert: Mai 2023  
Veileder: Tor Erik Nicolaisen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 22.02.2023		
Måling og merking av individuelle tømmerstokker i produksjon	Antall sider: 41		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	X
Navn: Anders Fremstad Solli, David Wold Weiseth og Sondre Haukaas Ødegaard			
Veileder: Tor Erik Nicolaisen			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Østlaft AS og Innlandet Treindustri AS			

**Sammendrag:**


Innlandet Treindustri AS har en ny fabrikk på Rudshøgda Innlandet. Den ble satt opp i 2020 og er ledende i markedet innen produksjon av laftehytter designet av Østlaft AS. Denne fabrikk har fokus på automatisering og krever lite bemanning for drift.

Fabrikk er den dag i dag ikke utstyrt med måleutstyr for lengdemål av tømmerstokkene som vil bli formet til laftesegmenter. I denne sammenheng fikk bachelor-gruppen i oppgave å fremme et konsept som kan automatisere denne måleprosessen som vanligvis gjøres for hånd. I denne bachelorrapporten blir det tatt for seg problemstillingen: "Hvordan implementere en enkel, kontinuerlig og ikke-invasiv metode for å ta et lengdemål av trestokker og sende data til en ekstern computer".

Gruppen har anvendt kunnskapen som vi har opparbeidet på maskiningeniørstudiet, for å komme frem til et konsept. Det har blitt drøftet flere mulige systemer for lengdemåling av tømmerstokker. Resultatet er et målesystem benytter en inkrementell roterende koder for å måle lengden av tømmerstokken, samt et kamera som leser av en QR-kode som er festet til stokken. Dette vil muliggjøre automatisk og kontinuerlig måling av tømmerstokker i produksjonslinjen.

**Stikkord:**

Tømmerstokker
Automasjon
Målesystem
Produksjon

Anders F. Solli            Sondre H. Ø.

---

(Anders Fremstad Solli)

(David Wold Weiseth)

(Sondre Haukaas Ødegaard)

# Forord

Bacheloroppgaven er beviset på et 3-årig opphold på bachelorstudiet, og denne markerer slutten på vårt opphold på NTNU Gjøvik ved institutt for vareproduksjon og byggteknikk. Denne oppgaven ble utarbeidet av Tor Eric Nicolaisen i samarbeid med Østlaft AS i 2023 og tilsvarer en arbeidsmengde på 20 studiepoeng.

Bacheloroppgaven omfavner utarbeiding av et automatisk målesystem i produksjonslinjen hos Innlandet Treindustri. Oppgaven skal gi Østlaft en mulighet for å ta en informert beslutning på om de skal implementere et målesystem eller fortsette med det nåværende system.

Arbeidet som har blitt gjort har gitt en bedre forståelse for hva et prosjekt med behov for planlegging innebærer, samt gitt et bedre innblikk i hvordan man kan bruke metodikk som en sterk ressurs.

Det benyttes en anledning til å takke Tor Erik Nicolaisen, Lars Martin Fauchand og Esten Kjølvang for deres hjelp gjennom oppgavens utførelse.

# Abstract

The objective of this bachelor's thesis was to conceptualize a continuous non-invasive automatic measurement system, with a way to refer to the individual log and by doing so reduce the need to enter an enclosed safety zone by eliminating the need to manually measure the logs inside it.

Our thesis is presented as the following:

*How to implement a simple, continuous and non-invasive method for measuring the length of timber and to send the data to an external computer.*

This was done through a combination of brainstorming and careful evaluation of the generated ideas. The result of the thesis both achieved this goal and suggests an increase in production efficiency for a relatively low one-time cost.

# Innhold

Forord .....	iv
Abstract .....	v
Figurliste.....	viii
Tabelliste .....	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Formål.....	2
2 Teori .....	4
2.1 Kodere .....	4
2.2 Fotoelektrisk sensor .....	5
2.3 Programmering og Arduino.....	5
2.4 QR-koder og QR-skannere .....	6
3 Metode.....	7
3.1 Kontinuerlig veiledning .....	7
3.2 Bedriftsbesøk .....	7
3.3 Brainstorming .....	8
3.4 Analyse av styrker og svakheter .....	8
3.4.1 Gridsystem .....	9
3.4.2 Lasermåling basert på tid .....	9
3.4.3 Roterende koder .....	9
3.4.4 Kombinasjoner av øvrignevnte .....	9
3.5 Frihåndstegning .....	10
3.6 PC-modellering.....	10
3.7 MSA studie .....	11
3.8 Prototyping .....	11
3.9 SWOT-analyse.....	12
4 Resultat.....	14
4.1 Konseptforslag.....	14
4.2 Økonomi.....	16
4.2.1 kost nytt kalkyle .....	16
4.2.2 Nytteverdi.....	22

4.3 MSA studie.....	23
4.3.1 Simulering .....	24
4.3.2 360-grader-test .....	25
4.3.3 Konklusjon av MSA studie .....	26
4.4 Modulbeskrivelse .....	27
4.4.1 Roterende koder .....	27
4.4.2 Roterende koder arm .....	27
4.4.3 Modifikasjon av samleband .....	28
4.4.4 Roterende koder hjul og laserbryter .....	28
4.4.5 Dataoverføring .....	29
4.4.6 QR-skanner.....	29
5 Diskusjon.....	30
5.1 Drøfting av resultatet.....	30
5.1.1 Kost nytte .....	30
5.1.2 MSA .....	30
5.2 Nummerering .....	31
5.3 Prosessmetode .....	32
5.3.1 Identifisering av stikk i målebanen .....	32
5.3.2 Initiering av målemekanismen .....	33
5.3.3 Målemekanismen .....	33
5.3.4 Dataoverføring .....	34
5.3.5 Kontrollpunkt .....	35
5.4 FNs bærekraftsmål .....	35
6 Konklusjon .....	36
6.1 Videre arbeid .....	37
Litteraturliste .....	38
Vedlegg .....	41

# Figurliste

<i>Figur 1: Inkrementell koder signal A, B, Z.....</i>	<i>4</i>
<i>Figur 2: Testbenk.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 2: Simulering av målebanen .....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 4: Roterende Inkrementell koder.....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 6: Koder arm.....</i>	<i>27</i>



# Tabelliste

<i>Tabell 1: SWOT-analyse.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabell 2: Kostnad Prototype.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabell 3: Prisliste ekskludert arbeid ferdig produkt.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabell 4: Total kostnad ferdig produkt .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabell 5: Oppsummering MSA studie.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabell 6: 360-grader-test.....</i>	<i>25</i>



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

*“Lafting er en byggeskikk med lange tradisjoner i Norge, hvor tømmerstokken av heltre er selve symbolet på et levende naturprodukt.*

*Våre hytter og hus bygges med sent voksende og malmrikt kvalitetstømmer fra Telemark. Et overlegent byggemateriale, og en 100% fornybar ressurs som fanger karbon.” (sitat østlaftbygg.no)*

Fabrikken til Østlaft er verdens mest moderne laftefabrikk. Tidligere importerte Østlaft ferdig oppkuttet tømmerstokker fra Litauen. De opplevde da problemer med kvalitetssikring så det ble bestemt å sette opp egen fabrikk på Rudshøgda som ble ferdigstilt i 2020. Denne fabrikk er satt opp for mest mulig automatisering.

Innlandet Treindustri AS på Rudshøgda produserer ferdig frest laftetømmer for hytter designet av Østlaft AS. Produksjonslinjen er utformet med automatisert fres og Hundegger som automatisk deler opp trestokker til laftesegmenter klar til sammensetning. Dette gir laftestokker med toleranser ned til 1/10mm som gir et laftebygg som er i tråd med moderne byggemetoder i forhold til byggets lufttetthet og isolerende evne.

En laftet hytte er en type lafteverk. Et lafteverk er en bærekonstruksjon hvor tømmer legges horisontalt på hverandre. For en laftet hytte blir dette konseptet applikert ved å legge de vinkelrette stakkene en halv stokkhøyde over hverandre. Denne byggteknikken har i lang tid vært prevalent i germanske folkegrupper helt tilbake til 100-tallet. Senere under vikingtiden var laftebygg og en stor del av norsk bygge kultur. (wikipedia 2022)

Østlaft og Innlandet treindustri har et ønske om å ha et bedre alternativ til deres nåværende muligheter for lengdemålinger av trestokker til laftede hytter. Per nå blir det foretatt manuelle målinger med målebånd og tusj for innskriving av data på hver enkelt stokk. Dette blir tidskrevende og innebærer at en sikkerhetssone blir brutt. Konseptet står sammen med FNs bærekrafts mål om industri, innovasjon og infrastruktur (punkt 9), samt ansvarlig forbruk og produksjon (punkt 12).

## 1.2 Problemstilling

Østlaft og Innlandet treindustri har et mål om å videre automatisere sin nye fabrikk ved å fjerne et fortsatt manuelt ledd i produksjonslinja. Per nå gjør en av arbeiderne en manuell måling av trestokkene med målebånd. For å få tilgang til stokkene må en sikkerhetssone brytes, og arbeideren må entre inn i et gjerdet område. Dette setter en full stopper i en av to primærdeler av samlebåndet. Med forventningene satt av oppdragsgiver kommer muligheten til å tenke ut å lage en effektiv og ikke-invasiv metode for å automatisere målingen av stokkene.

Målene tatt blir sendt til del to av fabrikken hvor en annen arbeider manuelt legger inn data før stokkene videre bearbeides. Ønsket til oppdragsgiver er å ha en mulighet til å nummerere disse stokkene i et program slik at kommentarer om eventuelle defekter eller styggheter på stokkene kan legges inn sammen med data fra målingen.

Problemstillingen vil da være følgende:

*Hvordan implementere en enkel, kontinuerlig og ikke-invasiv metode for å ta et lengdemål av trestokker og sende data til en ekstern computer.*

## 1.3 Formål

Hovedmålet med måleutstyret og denne oppgaven er å måle lengden på trestokkene automatisk med en toleranse på +5 cm på den totale lengden. Disse målene skal sendes til Hundegger-operatørens datamaskin som er ekstern fra måleutstyret. Operatøren av Hundeggeren har som oppgave å fylle inn lengden på stokkene i produksjonslinjen inn i Hundegger-programmet for å velge ut hvilke laftesegmenter som skal skjæres ut av de tilgjengelige stokkene. Ved å implementere et automatisk målesystem, som er koblet opp mot driftssystemet, vil det være mulig å overføre lengdemålene på tømmerstokkene automatisk inn på datamaskinen til operatøren. Derfra vil man kunne se lengdene til de innkommende stokkene og kan føre det inn i Hundegger-programmet. Her skal operatøren gjøre endringer på listen, som for eksempel fjerne stokker som er defekt og skrive notater på

stokken. Dette legger til rette for at Hundegger-operatøren har et større sortiment av ferdig freste tømmerstokker som laftesegmenter kan kuttes ut av.

Et krav fra oppdragsgiver er at lengdemålene skal komme på listeform og det skal være muligheter for å kunne redigere listens innhold slik at enkelte stokker med defekter som skal fjernes fra produksjonslinjen kan ekskluderes fra listen, samt at det kan noteres kommentarer på listen.

- Metoden må være nokså kosteffektiv
- Maskinen må ikke forhindre banen til treverket på samlebåndet
- Maskinen må kunne sende data til ekstern mottaker
- Maskinen bør være tilredgjort for vedlikehold og være enkel i drift

## 2 Teori

### 2.1 Kodere

Kodere er prinsipielt for at målesystemet skal fungere.

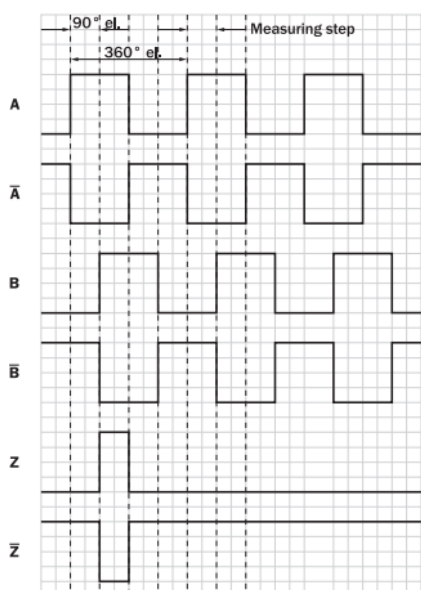
Med mengden fabrikkautomasjon som skjer i dag har etterspørselen for elektriske posisjonssensorer for alle typer industri vokst og bruken av digitale kodere har økt.

Roterende kodere er en av de mer populære koderne brukt.

En roterende koder er en posisjonssensor som måler mekanisk bevegelse og forskyvning og gjør det om til et signal. En slik koder gir tilbakemelding på hastigheten, retningen eller posisjonen til en mekanisk enhet for å kontrollere systemer, i dette tilfellet, lengden på objektet som ruller langs koderen.

Roterende kodere er primært laget i to versjoner, inkrementell eller absolutt. Disse er brukt i vidt forskjellige applikasjoner og oppgaven tar for seg den inkrementelle versjonen. Det er imidlertid viktig å forstå forskjellen mellom de for roterende koderne når man skal bestemme hvilke som skal brukes til forskjellige gjøremål.

En inkrementell koder er en sensor som kan brukes til målinger av rotasjonsbevegelse på bevegelige deler som aksler og andre deler i et maskinsystem. Essensielt består delen av to komponenter, en aksel og en sensor. Når denne akselen roterer registrerer sensoren endringer i akselens rotasjon og generer en puls med signaler som sensoren leser. Slike



pulser sier hvilken rotasjonsretning og hastighet akselen har og gir veldig nøyaktig data på posisjon av systemet. Den inkrementelle koderen har vanligvis to utganger, den ene sender en puls når akselen roter i en retning, og en annen utgang som sender pulser når den roterer i den motsatte retningen. Koderen bestemmer posisjon og rotasjonsretning ved å telle antall pulser fra hver utgang. (Nedelkovski, D. 2020)

Figur 3: Inkrementell koder signal A, B, Z

## 2.2 Fotoelektrisk sensor

En fotoelektrisk sensor er en sensortype som bruker lys til å registrere objekter og gjøre en bestemt jobb. Sensoren består vanligvis av en sender og en mottaker som står på motsatt side av hverandre. Sensoren sender ut en lysstråle mot mottakerplaten, og hvis strålen er brutt, vet sensoren at et objekt er i veien og sender denne informasjonen til en kontroller som bruker denne dataen til å utføre en oppgave basert på resultatet. Det er fire typer fotoelektriske sensorer:

- Through-Beam
- Reflective
- LASER-Reflective
- Diffuse

Det er fordeler og ulemper ved de forskjellige typene sensorer som hjelper med å velge den beste versjonen for oppgaven. Through-Beam er den mest nøyaktige og er veldig pålitelig, men innebærer at man monterer et system med to punkter, en sender og en mottaker. Reflective er bare litt mindre nøyaktig enn Through-Beam sensor, men er også avhengig av sender og reflektor. LASER-Reflective sensoren er fin i henhold til at den bare trenger sender og ikke mottaker eller reflektor, men den er blind til objekter utenfor sensorens rekkevidde. Diffuse sensorer trenger også bare en sender, men er mindre nøyaktig enn LASER-reflective sensoren. (Wikipedia 2023)

## 2.3 Programmering og Arduino

Arduino er en åpen-kilde programmerbar mikrokontroller som gjør det mulig å lage digitale maskinvareprodukter. Den mest populære modellen Arduino tilbyr er Arduino Uno.

Mikrokontrolleren er en liten datamaskin som opererer på svakstrøm. Selve brettet er et kretskort omringet av "pins" som kan kobles til et "breadboard" for å lage en krets som kan styres av Arduinoen. I tillegg er det en USB-port som tillater kobling til en ekstern PC for programmering av systemet.

Arduino bruker en "dialekt" av C++, som er meget utbredt innen maskinstyring innen industri. (Nils Kr. Rossing og Christoffer Stausland 2022)

## 2.4 QR-koder og QR-skannere

En QR-kode (Quick Response kode) er en maskinlesbar mosaikk-strekkode som lar et kamera lese og hente informasjon, som en url eller personlig data. En QR-kode er bedre enn en vanlig strekkode på å lagre data, dette er fordi en strekkode opererer i bare en dimensjon.

QR-koden har to dimensjoner, som gjør den mye større.

Når en QR-kode skannes, aktiveres en handling, som å åpne en ledetekst.

EN QR-skanner kan i prinsipp være et hvilket som helst kamera, så lenge oppløsningen er god nok så at en datamaskin kan registrere QR-koden. (Illumin Magazine 2022)



## **3 Metode**

Dette kapitlet utreder om hvilke metoder som ble brukt i utviklingen av konsepter og måtene konseptene ble fjernet fra vurdering.

### **3.1 Kontinuerlig veiledning**

Via veiledning av en eller flere personer med erfaring innen temaet kan idéer bli introdusert eller eliminert og nyttige tilbakemeldinger kan bli gitt til de som blir veiledet. En erfaren veileder kan fremme gode ideer og komme med nyttige innspill under hele utviklingsprosessen.

Veiledning i dette prosjektet skjedde ukentlig ved et fast tidspunkt og lyste frem nye idéer.

### **3.2 Bedriftsbesøk**

Ved et eller flere bedriftsbesøk kan den nåværende arbeidsprosessen observeres og analyseres for videre utvikling. Prosesser som stopper arbeidsflyten, kan lettere identifiseres og påpekes slik at ingeniørene kan utvikle mer effektive arbeidsmetoder og/eller eliminere unyttige ledd.

I prosjektets tilfelle var målet å identifisere hvordan et måleinstrument på mest mulig effektiv måte kunne måle lengden til halv-prosesserte tømmerstokker uten at operatør måtte entre inn i det avgrensede området å måle manuelt.

### 3.3 Brainstorming

Brainstorming er en god teknikk for å få frem mange ideer og løsninger. Det er vanligvis en gruppeprosess der deltakerne skriver ned så mange ideer og tanker om subjektet uten kritikk. Målet med brainstorming er å få ut mange ideer på veldig kort tid og gjennomgå disse gjennom i etterkant for å sortere ut det som ikke passer av ulike årsaker, eller sortere de som passer best. Ved brainstorming er det lurt å ha med mye forskjellige personell for å fremme mange forskjellige perspektiver og løsninger som kanskje en enkeltperson ikke ville kommet på selv. (Wikipedia, 2021)

### 3.4 Analyse av styrker og svakheter

Denne metoden utvikler seg til slutt inn i en SWOT analyse.

Det ble foretatt en analyse av diverse fordeler og ulemper som en egen metode for idéene som kom ut av brainstormingen, og for å sortere ut hvilke idéer som vil fungere best til formålet med oppgaven. Dette la grunnlaget for en videre SWOT-analyse senere i prosjektet, som er beskrevet i kapittel 3.9. Dette fungerer ved å ta for seg hver ide én etter én å gå gjennom hvilke fordeler og hvilke ulemper den har, og disse kan samles på et ark eller settes opp i et regneark for å evaluere hvilken ide som egner seg best til oppgaven.

Mange ideer ble tatt for seg i denne delen av utviklingsprosessen:

- Gridsystem
- Laser måling basert på tid
- Roterende koder
- Forskjellige kombinasjoner av øvrignevnte

### **3.4.1 Gridsystem**

En av de tidligere idéene kom i form av et overhengende kamera som satte trestokkene i et gridsystem for måling. Et slikt system gir god nøyaktighet, men skapte flere problemer enn det løste. En av de overliggende problemene som oppsto var at det ikke enkelt kunne implementeres eller vedlikeholdes.

### **3.4.2 Lasermåling basert på tid**

Idéen med denne typen måling var å måle tiden det tok en stokk å passere laseren, og ut ifra tiden dette tok, måle lengden på stokken. Ideen var god, men stokkene vi observerte hadde for stor variasjon i hastigheten til at denne typen måling kunne benyttes. Transportbåndet er glatt, hastigheten på rotasjonen av rullebåndet er ikke konstant og når stokken gikk inn i fresen ble hastigheten redusert. Dette gjør at målingen fra laseren blir for lite konsistent og dermed ubrukelig. Et av problemene med denne typen sensoren er også at den kunne bli påvirket av støv. Dette problemet kunne henholdsvis løses enkelt av trykkluft.

### **3.4.3 Roterende koder**

Det er flere fordeler enn ulemper ved å bruke roterende kodere som at de er veldig pålitelige og nøyaktige, har høy oppløsning, har integrert elektronikk, blander optisk og digital teknologi og er kompakte. Selv om de kan være underlagt radio og magnetisk interferens og for optiske kodere kan en direkte lyskilde sette koderen av kurs. I tillegg er det en mekanisk del som er subjekt til kontaminering slik som støv, olje og annen skitt. Ulempene påvirker i liten grad grunnen til valg av roterende koder som måleinstrument.

### **3.4.4 Kombinasjoner av øvrignevnte**

En kombinasjon mellom lasermåling basert på tid og roterende koder ble foreslått, hvor den roterende koderen måler lengden og lasersensoren skrur måling av og på. Ved å ha en laser som slår på og av målingen på koderen vil det forhindre at vindkast, vibrasjoner og lignende gir falske målinger. Dette er en god måte å initiere og utføre en måling på for å forhindre at

hjulet måler unødvendig. Det er nødvendig med en kommando i koden som sier at systemet ignorerer alle målinger som registrerer under en viss lengde for å ikke lagre falsk data.

Det ble også foreslått å bruke to forskjellige måleenheter som gir enten like eller liknende målinger og forskjellen mellom de kan ansees som usikkerheten, men denne metoden gav for mye usikkerhet og ender opp mer kompleksitet en nødvendig.

### **3.5 Frihåndstegning**

Frihåndstegninger er en enkel måte å visualisere idéer og ble brukt tidlig i konseptfasen til prosjektet for å illustrere mulige konsepter. Ved enkle tegninger med blyant på papirark, kan et konsept enkelt vises til andre og ved bruk av svake linjer kan konseptet modifieres uten å legge igjen spor som kan gjøre tegningen vanskelig å tyde. (Greve, 2022)

### **3.6 PC-modellering**

PC Modellering er en måte å visualisere et konsept fra eksempelvis et ark til en 3D-modell på en PC. Disse modellene kan brukes til å simulere mange ulike situasjoner og hendelser uten å måtte gjenskape de i virkeligheten. Hvis disse modellene er veldesignet, vil dette redusere kostnad og usikkerhet i produktutviklingen.

Det finnes mange modelleringsprogram for PC, men for denne oppgaven ble det valgt solidworks som arbeidsmedium fordi programmet er både godt egnet til oppgaven og godt kjent for oppdragstakerne.

Solidworks er et CAD-program (Computer Aided Design) som er mye brukt i industrisammenheng for å modellere blant annet maskindeler og andre komponenter. Det er liten begrensning på hvor stor eller liten modellen kan være i programmet og dermed kan solidworks brukes til både store og små prosjekter. Solidworks har innebygde animasjonsmuligheter, samt elementsmetode-analyser og muligheter for væskesimuleringer, som kan anvendes i en slik designprosess.

Solidworks kan brukes til å gjøre løsningene til virkelighet via 3D-printing. Modellen tegnes i linjer og linjenes lengde defineres. Deretter kan objektet ekstruderes til en 3D-modell.

Denne modellen kan roteres og inspiseres på flere måter og kan analyseres i programmet

ved å påføre vekt på punkter eller overflater. Den ferdige modellen kan bli printet via en STL-fil.

### **3.7 MSA studie**

En MSA studie er en grundig gjennomgang og vurdering av en måleprosess med hensikt å finne variasjoner i måleprosessen og identifisere komponentene som kan skape variasjoner i målingene. Dette gjøres typisk ved et spesielt utformet eksperiment.

MSA brukes mye til kvalitetskontroll, produksjon og ved andre områder der nøyaktigheten til måledataene er avgjørende for videre beslutninger.

Høye variasjoner i målinger kan skape feilaktige resultater. En MSA studie evaluerer testmetoden, måleinstrumentene og hele prosessen ved å skaffe målinger for å sikre integriteten til dataene som brukes til analyse og for å forstå konsekvensene av målefeil.

(Wikipedia, 2023) (Quality-one, 2023)

### **3.8 Prototyping**

Prototyping er en innovativ og kreativ metode som brukes til å vise frem og teste utvalgte konsepter og ideer i en visuell, tredimensjonal form som kan brukes til å samarbeide og kommunisere med teamet og interessenter. Ved å lage en prototype, kan man få en bedre forståelse av hvordan et produkt eller en tjeneste kan fungere i virkeligheten, samt gi en mulighet til å identifisere og løse eventuelle problemer eller utfordringer før de blir til større problemer. En godt utviklet prototype kan også hjelpe til med å minimere risikoen og kostnadene ved å lansere et produkt eller tjeneste til markedet, og gi en mulighet til å få verdifulle tilbakemeldinger fra kundene før det endelige produktet eller tjenesten er produsert og distribuert.

Som en del av prosjektet ble det laget en prototype for å gjennomføre en MSA-studie for å verifisere nøyaktigheten til det teoretiske målesystemet.

(Lumitex, 2023)

### 3.9 SWOT-analyse

En SWOT-analyse (Strengths, weaknesses, oppertunities, and threats) er et rammeverk som kan brukes til å evaluere sterke og svake sider ved et produkt. Analysen brukes som et verktøy for å gjennomføre strategiske analyser og verktøyet hjelper med å finne områder for forbedring og for å utvikle strategier som utnytter de sterke sidene til produktet eller tjenesten og minimerer virkningsgraden av svakheter og trusler.

Analysen innebærer å vurdere interne og eksterne faktorer som påvirker produktets eller tjenestens evne til å nå de satte målene. Resultatene er som regel dokumentert i en SWOT-matrise som viser de respektive styrkene, svakhetene, mulighetene og truslene i fire separate kvadranter.

**Styrker:** Dette er de indre faktorene som gir utvikler fordeler over konkurransen. Disse kan være et sterkt merkenavn, kvalitetsmessig arbeidsstyrke eller innovative produkter og tjenester.

**Svakheter:** Dette er de indre faktorene som gir utvikler ulemper mot konkurransen. Disse kan være utilstrekkelig ledelse, dårlig finansiering og middelmådig teknologi.

**Muligheter:** Dette er de eksterne faktorene som utvikler bør utnytte for å oppnå satte mål. Disse kan være et blomstrende marked, positiv brukerutvikling og gunstig regjeringspolitikk.

**Trusler:** Dette er de eksterne faktorene som negativt påvirker utviklers muligheter til å nå sine mål. Disse kan være situasjoner slik som dårlige økonomiske tider og økt konkurranse.

Dette er en nyttig metode for bedrifter, organisasjoner og utviklere for å evaluere sin posisjon og lage suksessfulle strategier slik at gode og informative beslutninger kan foretas.

Styrker	Svakheter	Muligheter	Trusler
Kostnadseffektiv	Avhengig av fysisk kontakt mellom overflater med variabel friksjon	Økende marked for større grad av automatisering i industri	Usikker konkurransevne med mer erfaring og mer etablerte utviklere
Meget utbredt teknologi innenfor industri og målinger	Utvikler har ikke et troverdig merke med noen anmeldelser	Vil fremtidssikre bedriften for eventuelle innstramninger innen HMS	Kostnaden for implementering kan bli for høy i forhold besparelsene
Minimalt med bevegelige deler som slites	Ikke nok testing på produktet		

Tabell 1: SWOT-analyse

# 4 Resultat

I dette kapitlet fremmes resultatene funnet ved hjelp av diverse applikerte metoder.

## 4.1 Konseptforslag

Konseptet oppgaven presenterer er et kompakt og komplett system som måler lengden på trestokker som skal freses til bruk av laftende bygg. Systemet opererer i fire delpartisjoner. Det første er registrering av trestokk ved bruk av QR-skanner. Videre vil en fotoelektrisk sensor brytes. Denne sensoren er koblet i et enkelt punkt og skyter en infrarød stråle mot en refleks. Når laseren ikke registrerer at strålen blir reflektert, setter systemet i gang prosess tre. I dette leddet starter systemet opp en aktiv måling av stegene den inkrementelle roterende koderen bruker frem til laseren igjen registrerer refleksen. Steg fire skjer ved at målt data sendes ut til en ekstern computer.

Nedenfor ligger modulliste til prototypen og konseptforslaget.

### Prototypen:

- Digital koder

Koderen er av typen inkrementell koder.

- Fotoelektrisk sensor

Fotoelektrisk sensor for initiering av måling.

- Målehjul

For at koderen skal være den eneste feilmarginen på testingen av systemet, er det kritisk at målehjulet er robust nok til å ikke deformeres under last.

- Arduino Uno med tilhørende kabler og breadboard (Arduino starter kit)



For å enkelt kunne sette opp en prototype ble det benyttet en Arduino Uno for å verifisere nøyaktigheten av utstyret. Arduinoen er basert på C++ som også benyttes som maskinkode i de fleste tekniske installasjoner. Koden ble skrevet i samarbeid med ChatGPT ved at funksjonen til koden ble beskrevet og testet i programmet. Der det ble oppdaget feil i koden kunne disse feilene forklares tilbake til chatGPT for å oppnå en fungerende kode som hadde funksjonene som var ønskelig for testing.

- Brakett for montering i fabrikken

For å montere den roterende koderen til samlebandet finnes det fjærbelastede koderarmer som er designet for formålet. Koderarmen sørger for tilstrekkelig trykk mot tømmerstokken så koderhjulet alltid vil rotere med den forbipasserende stokken. Montasjen av koderen til samlebandet vil kreve noen modifikasjoner til sideveggen. Koderen er noe høyere en spalten i veggen, så denne må utvides slik at koderen og koderhjulet kan stikke langt nok ut slik at den alltid vil kontakte tømmerstokkene.

#### Konseptforslaget:

- Inkrementell koder
- QR-skanner
- Fotoelektrisk sensor, singulær med refleks
- Målehjul, med større omkrets og optimal friksjon
- Spesialbygd kretskort
- Brakett for montering i fabrikken
- Kablet metode for transport av data til ekstern computer

Sammen med data fra lengdemålingen, er ønsket å sende innstillingene på fresen til samme datafil slik at det også er tilgjengelig i filen operatøren ser før stokken mates i Hundeggeren. I denne filen er skal det være et panel for inntasting av kommentarer på de individuelle stokkene.

## 4.2 Økonomi

Per dags dato fungerer systemet på Innlandet treindustri slik at operatøren ved fresen går inn i et avgrenset område og måler øverste rad av tømmerstokker i et kolli på cirka 15 tømmerstokker (dette varierer fra pakke til pakke) og skriver inn lengden på stokken manuelt. Etter stokken er påskrevet løftes stokken av en løftearm, settes på samlebåndet som kjører den inn i fresen. Dette resulterer i ca. 3-5 turer inn i et avgrenset område og samtidig betyr dette en stopp i produksjonen og gir økt HMS risiko. Gulvet inne i før prosesserings lageret er ujevnt og har en større risiko for fall og skade.

Ved å installere målesystemet vil operatøren kunne unngå å gå inn i det avgrensede området for å måle tømmerstokkene. Operatøren må da bare inn i før prosesseringslageret for å justere på tømmerstabelen i tilfelle det er noen ujevnheter eller annet galt.

Samtidig som det er HMS fordeler kan bedriften spare noe tid på en installasjon av målesystemet. Ved færre turer inn før prosesseringslageret vil operatøren kunne øke frekvensen av tømmerstokker som sendes gjennom fresen, ettersom ingen stokker kan hentes av løftearmen samtidig som operatøren er innenfor sikkerhetssonen.

### 4.2.1 kost nytt kalkyle

Prototypen som ble laget ved dette prosjektet oppfyller alle krav med veldig liten kostnad. Hele systemet ble laget så simpelt som mulig med arduino som kodesystem og noen enkle deler som ble kjøpt fra RS Komponenter og Arduino sett som gruppen allerede hadde tilgjengelig.

Pris (med moms) NOK	Navn
107,20	Koder testbenk (PLA)
409,58	Målehjul
94,52	Fotoelektrisk sensor
1295,00	Arduino kit
2042,50	Inkrementell koder
<b>3948,80</b>	<b>Total Sum i NOK</b>

Tabell 2: Kostnad prototype

Denne kostnads kalkylen er for prototypen som ble laget som et bevis for at konseptet fungerer. Alle komponentene med unntak av arduino kan brukes i en faktisk installasjon av konseptet, så selve kostnaden på konseptet er særdeles lavt.

Arduino kit har en del problemer som ikke egner seg i industrien:

- Mangel på minne  
 Arduino Uno, som ble benyttet i forsøket er en mikrokontroller som hovedsakelig er beregnet for hobbyvirksomhet og prototyping. Mikrokontrollerens virkemåte er tilsvarende som andre maskinstyringsprogrammer, ettersom de er basert på hovedsakelig det samme programmeringsspråket. Men ettersom denne mikrokontrolleren er beregnet for forbrukere skaper dette begrensninger i komponentenes kvalitet og kapasitet. Mikrokontrolleren har et flash minne på 32KB og 2KB SRAM (arduino u.d.) Som vil si at mikrokontrolleren har 400 ganger mindre lagringsevne enn en "floppy disk".
- Lav strøm system  
 Mengden komponenter som arduinoen er kapabel til å kjøre er også limitert av effekten som kan leveres av den innebygde strømforsyningen. Den kan levere en

spenning på opp til 5,5v ved 40mA (eller 20mA kontinuerlig). Dette vil begrense hvor mye strøm som kan trekkes fra systemet før en ekstern strømkilde behøves for å drive målesystemet.

- Vanskelig å sette opp en lukket krets

I det benyttede oppsettet for testing var komponentene satt sammen på et breadboard, som vil tilsi at kablene var eksponert til omgivelsene og ble kun holdt sammen av friksjon. For videre utvikling av systemet bør et dedikert kretskort lages slik at kablene ikke er holdt sammen av friksjon.

- Lett få mye "cross-talk" på ledningene

Ledningene som kommer med et arduino kit er ikke godt nok isolerte, noe som fører til at signalene i ledningene "prater" med hverandre og sender signaler gjennom hverandre, også kalt "Cross-talk". Dette resulterer i at systemet blir forvirret og ikke fungerer som det skal. Selv om det ikke oppsto noe cross-talk under testing vil det fortsatt være en risiko når flere komponenter blir implementert i det ferdige produktet.

Arduino kittet kan byttes ut med et spesial bygget kretskort (PCB, Printed Circuit Boards) som kan koste alt mellom 110 kr til 600 kr, og kostnaden på ledninger varierer mye basert på lengden og kvaliteten som behøves. (Multi-circuit-boards u.d.)

Utenfor disse små kostnadene er det anbefalt, men ikke strengt nødvendig med svak trykkluft blåsende rundt laseren for å unngå at støv eller spon hindrer laseren å fungere. Denne trykkluften trenger bare å blåse når maskinen kjører. Trykkluft vil kun være nødvendig hvis sensoren er nærmere horisontalt plassert, men hvis sensoren plasseres fra oven siktende nedover er ikke trykkluft like nødvendig.

Den endelige installasjonen av et industri-funksjonelt system vil inneholde følgende deler:

- Inkrementell roterende koder
- koder hjul
- PCB + PCB hus
- QR-kode skanner
- Brakett for koderarmen
- Fotoelektrisk sensor

Estimert pris (NOK)	Navn
2000	Inkrementell koder
500	Koder hjul
600	PCB + PCB hus
12000	QR-kode skanner
3000	Brakett
100	Fotoelektrisk Sensor
<b>18200</b>	<b>SUM</b>

Tabell 3: Prisliste ekskludert arbeid ferdig produkt

Installasjons kostnadene varierer fra bedrift til bedrift på grunn av rabatter og lignende til enkelt selskaper, men selve installasjons kostnaden av systemet er antatt å koste rundt 1500 kroner timen. Deretter kommer kostnader for kabler og legging av disse

kablene på ca. 1500 kroner i timen og transport av personell til å utføre oppgavene. Systemet må selvsagt testes etter installasjon av kvalifisert personell, men dette blir sett på som en mulig oppgave til personen som allerede opererer systemet. For hele operasjonen kreves det sannsynligvis en prosjektleder som styrer prosjektet og følger opp for å sikre at prosjektet blir gjennomført.

Installasjonen kan ta alt fra en time eller to til en hel dag og da blir kostnaden mellom 1500-9000 kroner. Kodingen som er gjort er relativt simpel og inkluderer ikke QR-kode skannerens funksjon, knappen må byttes ut med laser, og lengden sendes ikke til Excel eller lignende programmer. Disse inklusjonene øker kodens kompleksitet og dermed tiden det tar å kode de nye funksjonene. Alt dette øker kostnaden ved at koderen enten må sette seg inn i koden og legge til funksjonene eller skrive en helt ny kode fra bunnen av. Å kode systemet krever flest arbeidstimer og påfører mest kostnader.

Etter alt er installert kommer testing av produktet for å kvalitets sikre at alt fungerer som det skal. Dette er estimert å ta en full dag med vanlig operasjon der dataen fra det nye måle systemet sammenlignes med den manuelle måling. Personen som allerede jobber i området kan gjøre dette, men antageligvis vil firmaet som gjør arbeidet kvalitets sikre selv. Estimert kostnad per time for denne personen er 1500 kroner.

Hvis testingen viser at systemet fungerer som det skal vil utgiftene være satt, men i det tilfelle at noe går galt kan kostnadene øke betydelig da systemet må analyseres for å finne ut hva som gikk galt.

Sum (NOK)	Estimert pris per time	Estimert tid i timer	Arbeidsoppgaver
9600	1200	8	Prosjektleder
1500-12000	1500	1-8	Installasjon
15200	1900	8	Koding
200	100	2	Kjøring
12000	1500	8	Kabling
12000	1500	8	Testing
<b>50500-61000</b>	N/A	N/A	<b>Total</b>

Tabell 4: Total kostnad ferdig produkt

Med kostnad for innkjøp av deler, installasjon, koding osv. Blir de estimerte total kostnadene. 70000-80000 kroner uten å regne bedrifts rabatter og lignende.

#### 4.2.2 Nytteverdi

Den største nytten dette prosjektet vil gi kommer i form av HMS-forbedringer og tidsbesparelser. Ved installasjon av det nye målesystemet vil operatøren ikke lengre måtte gå inn i avgrenset sikkerhets området for å måle stokkene manuelt med målebånd. Dette sparer tid når stokkene blir målt automatisk og kan bli matet inn i fresen fortløpende i stedet for å måtte ta avbrekk etter 3-5 stokker. Dette reduserer også faren ved å gå inn i sikkerhets området.

For å se på tidsbesparelse ble det satt opp et scenario basert på målte tider og noen tidsestimater for en arbeidsdag med og uten det nye målingssystemet. Går ut ifra at stokkene er stablet med 5 stokker i bunn med 4 lag slik at det blir 20 stokker per pakke.

1. Først blir stokk pakken kjørt fra lagringsplassen til et samleband som kjører pakken inn i sikkerhetssonen. Estimert til å ta ca. 5 minutter.
2. Det øverste laget av pakken blir deretter målt av fresoperatøren manuelt, og dette steget repeteres etter at øverste laget av stokker er sendt gjennom fresen. En manuell måling ble målt til å ta ca. 2 til 4 minutter per gang.
3. En stokk blir hentet av løftearmen og plassert på fresens samleband. Estimert til å ta opptil 30 sekunder.
4. Til sist blir stokken sendt gjennom fresen. Dette tar ca. 2,5 minutter per stokk.

Systemkalkylen blir da per pakke:

$5\text{min} + 3\text{min} * 4 (\text{lag}) + 0,5\text{min} * 20 (\text{stokker}) + 2,5\text{min} * 20 (\text{stokker}) = 1 \text{ time og } 17 \text{ minutter}$   
per pakke.

I en 7,5 timers arbeids dag er det 450 minutter.

$77 \text{ min} * 6 = 462 \text{ minutter.}$

For det manuelle målingssystemet tar det da 1 time og 17 minutters tid per pakke og dette blir ikke mer enn 6 pakker i løpet av en vanlig 7,5 timers arbeids dag, uten uvanlige tilfeller.

Med det automatiske målingssystemet tar det da 12 minutter mindre per pakke og i en vanlig 7,5 timers arbeidsdag vil dette resultere i opptil 7 pakker per dag i stedet.

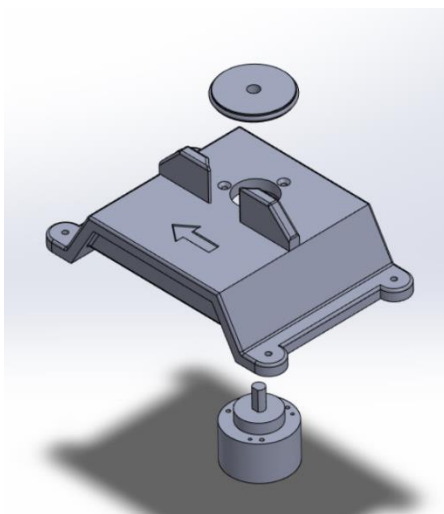
$65 \text{ min} * 7 = 455 \text{ minutter.}$



Kostnaden av å ha en person ute av drift på grunn av uhell relatert til jobben er meget høy samtidig så må det leies inn en vikar for å midlertidig erstatte fresoperatøren, om ikke produksjonen må stoppe. Ved et enkelt brudd i foten kan en person være sykemeldt fra kun 1 uke opp til 6 - 12 uker og alle kostnadene ved en slik sykemelding. (Helsedirektoratet, 2016)

### 4.3 MSA studie

Målet med denne MSA studien er å måle hvor nøyaktig målesystemet i prototypen er og finne årsaken til eventuelle feilmålinger slik som menneskelige feil eller feil i instrument og bestemme gjennomsnittsmåling, standardavvik og rekkevidde for målingene. Den første målingen ble gjort av tre forskjellige personer der dem som styrer test stykket telles som måleren og gjør 20 målinger hver i sakte hastighet og noterer resultatet i et Excel-dokument. For målingene ble det holdt ned en knapp samtidig som målepersonen kjørte et 358mm trestykket over målingsoppsettet og en sisteperson leste av målingen som ble vist i koden og skrev målingene ned i Excel. En knapp ble benyttet for å simulere at laseren ble brutt i stedet for at laseren ble programmert inn i systemet, ettersom den som førte trestykket måtte bruke to hender for å gli den bortover målebanen. Trestykket ble kjørt langsomt langs hjulet for å forhindre at hjulet roterer etter at målingen er gjort. Hjulet innehar evnen til å hindre at det spinner unødvendig.



For dette måleeksperimentet ble det 3D-printet en testbenk for å montere måleapparatet slik at det ble lettere å passere et teststykke over målehjulet med minimal kurvatur.

Målesystemet er kodet slik at målingen ikke begynner før knappen er trykket ned og denne knappen må holdes ned under hele målingen. Når knappen blir sluppet så stopper målingen og lengden kan leses av koden.

Figur 2: Testbenk

Resulterende målinger i millimeter:

Individ	Lavest	Høyest	Gjennomsnitt	Median	Standardavvik	Rekkevidde
1	356,60	378,70	371,82	374,67	6,25	22,10
2	358,85	376,00	373,06	374,02	3,83	17,15
3	364,10	376,05	374,08	374,55	2,58	11,95
Resultat:	356,60	378,70	372,98	374,52	4,51	22,10

For full oversikt over alle målinger se Excel vedlegg.

Tabell 5: Oppsummering MSA studie

#### 4.3.1 Simulering

Trestykket ble målt med målebånd til å være 358 mm lang, men den gjennomsnittlige målingen endte opp på 372,98 mm. Dette indikerer at målesystemet er satt opp på en ugunstig måte eller at målehjulet er feilkalibrert. En kjent feil ved målingen var at hjulet ikke var helt jevn med overflaten som trestykket fulgte, noe som resulterte i at den traff hjulet på feil punkt og startet målingen før den skulle og endte etter den skulle.



Figur 4: Simulering av målebanen

Figuren viser at trestykket treffer hjulet på en vinkel og følger hjulet før den forlater målehjulet.

Dette ble gjort med hensikt fordi det var usikkert om den ville være tilstrekkelig eksponert til å bli truffet av teststykket og dermed rottere.

Den gjennomsnittlige målingen ble 15 mm feil som er halvparten av lengden på gapet til målehjulet. En mulig feil med målingen er at den som målet skyver trestykket inn i hjulet slik at den starter som vist på figuren over, og målingen avsluttes mellom toppen av

kurven og enden av kurven. Dette ville forklare den gjennomsnittlige 15 mm unøyaktigheten. Målingene ble mer presis etter hvert som personen som målte ble mer erfaren på å måle som legger til mer usikkerhet i den menneskelige delen av målingen.

#### 4.3.2 360-grader-test

Den andre testen som ble utført var en 360-grader-test hvor hjulet ble markert med en strek og en lignende strek ble markert på braketten. Deretter roteres hjulet 360 grader rundt til markeringene var på linje og resultatene registrert i et Excel-ark. Denne testen ble utført for å sikre nøyaktigheten til målehjulet. I hjulets spesifikasjons dokument ble omkretsen til hjulet beskrevet som 20cm lang, og den forventede målingen er da 200mm.

Individ	Lavest (mm)	Høyest (mm)	Gjennom snitt (mm)	Median (mm)	Standard avvik (mm)	Rekkevidde (mm)
1	199,7	200,5	200,01	200	0,26	0,8
Resultat	199,7	200,5	200,01	200	0,26	0,8

For full oversikt over alle målinger se Excel vedlegg.

Tabell 6: 360-grader-test

Testen resulterte nesten som forventet, testene viser at hjulet er nøyaktig opptil 8 mikrometer. Dette viser til at hjulet ikke er en stor faktor i den første testens unøyaktighet.

### 4.3.3 Konklusjon av MSA studie

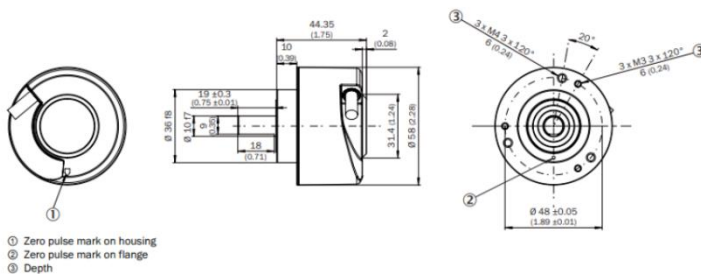
5 For å konkludere kan en se på resultatene første testen som indikerer at det er en gjennomsnittlig feilmargin på 15mm. Denne feilen kunne skyldes på oppsettet, instrumentene og menneskeligfeil. Det ble observert at målingene ble mer presise over tid, når operatøren ble mer erfaren, og dette tyder på at den menneskelige faktoren hadde en større innvirkning på resultatet enn ønsket.

Den andre testen ble utført for å bekrefte nøyaktigheten til målehjulet og resultatene fra testen viste at målehjulet var nøyaktig inntil 8 mikrometer, som tyder på at det ikke var hjulet som hadde størst innvirkning på den første testens unøyaktighet. Basert på disse funnene kan vi konkludere med at den første testen skulle vært bedre designet for å redusere den menneskelige faktoren.

## 4.4 Modulbeskrivelse

### 4.4.1 Roterende koder

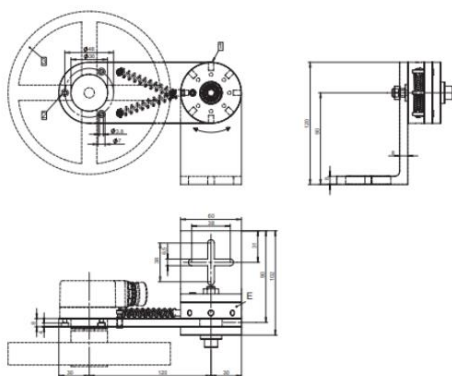
I den reelle applikasjonen av måleutstyret vil den samme koderen enheten bli benyttet i som i oppsette til testen. Denne koderen er en inkrementell roterende koder, som vil si at koderens rotasjon er delt opp i like mange segmenter. Disse segmentene leses av i en A-kanal og B-kanal. Med disse to datapunktene kan rotasjonsretningen fastsettes, og antall segmenter kan telles for å beregne totale lengden.



Figur 4: Roterende Inkrementell koder

### 4.4.2 Roterende koder arm

For å holde materialkostnaden til prosjektet nede ble det avgjort at det vil være mest kosteffektivt å basere designet på allerede eksisterende produkter. Roterende kodere er blitt benyttet i tekniske og industrielle installasjoner i lang tid. Blant annet heiser, for å lokalisere posisjonen på heisen, og på samlebånd. For at koderen skal oppnå god nok trykkraft for å overvinne det interne momentet i koderen må en fjærbelastet arm benyttes. Dette vil også sørge for at koderen ikke kolliderer med tømmerstokken på samlebåndet. I det reelle



oppsettet vil det benyttes en “Kübler Spring Encoder Arm”. (Manufacturer Part Number: 8.0010.7000.0010). Denne armen er egnet for målesystemets forhold ettersom fjærbelastningen på armen kan justeres, sammen med orienteringen på armen. Dette gjør det enkelt å sette opp koderen i linje med samlebåndet.

Figur 5: Koder arm

#### **4.4.3 Modifikasjon av samleband**

En forutsetning for at måleutstyret skal fungere optimalt i drift, er at kontakten mellom målehjulet og tømmerstokken er konstant under drift. Foruten dette vil koderhjulet stoppe under målingen, som vil skape store feilmålinger i systemet. Under fabrikkbesøk ble det gjort observasjoner på hvordan innmatingen til fresen foregår. Samlebandet er utstyrt med vertikale rullere som tømmerstokkene ligger inntil (langs veggen). Det vil derfor være gunstig å montere koderen slik at den er i linje med disse rullene slik at bredden og høyden på tømmerstokken ikke vil være en variabel som måleutstyret må ta hensyn til. For å oppnå dette må koderen og koderarmen være montert horisontalt i samlebandsveggen. Dette vil kreve modifikasjoner på utstyret som allerede er installert.

Modifikasjonene som kreves er at åpningen i samlebandsveggen må utvides i høyde slik at koderen kan stikke gjennom veggen for å berøre forbipasserende tømmerstokker.

#### **4.4.4 Roterende koder hjul og laserbryter**

Valg av koderhjul er viktig for å sørge for optimal friksjon mot tømmerstokken. Som diskutert i kapittel 4.3.1, så var det en feilmargin på +15 mm grunnet at stokken traff hjulet tidlig og roterer med kanten av stokken til der målingen er beregnet at den skal starte. Denne differansen i målingen fra den reelle lengden kan minimeres ved å montere et koderhjul med større radius. I kombinasjon med dette er blir målingene startet og stoppet av en laser som brytes når det er en stakk som passerer koderen.

#### **4.4.5 Dataoverføring**

Dataene innsamlet av koderen må overføres til Hundegger-operatørens datamaskin. For å overføre disse dataene vil enten fabrikkens egen kabling benyttes, eller så kan en standard CAT-6 internettkabel benyttes for dataoverføringen.

Målingene fra koderen må ha en form for sporingsnummer som dataene kan referere til. Tømmerstokkene kommer montert med merkelapper fra leverandøren. I denne oppgaven ser vi bort ifra utviklingen av QR-skanner systemet for å sette fokus på andre problemstillinger. For at målingene teoretisk kan overføres automatisk med løpenummer, kan lappene tilføyes en QR-kode som kan leses av et kamera som er montert på samlebandet. Dette vil gjøre det enkelt å koble målingene opp mot et fysisk sporingsnummer som operatøren også kan lese av på stokken når den passerer forbi.

#### **4.4.6 QR-skanner**

For at målingene skal kunne overføres til Hundegger-operatørens datamaskin automatisk er det som tidligere nevnt gunstig å benytte en QR-kode. Dette vil gjøre det mulig å sette opp en automatisk handling som vil fylle inn en ny linje på dokumentet hvor målingene fylles inn. For å muliggjøre dette behøves det et kamera som kan lese QR-kodene som er festet til tømmerstokkene. Dette kameraet vil være festet til samlebandet før inngangen til fresen. Det finnes kameraer for dette, men et hvilket som helst kamera kan lese en QR-kode i teorien. Dette kameraet vil være koblet til kretskortet målesystemet er koblet opp mot.

# 5 Diskusjon

Østlaft og Innlandet Treindustri har en høymoderne og nybygd fabrikk. Den er nesten helt komplett med unntak av et system for å måle lengden av trestokkene. Dette er så klart viktig for en bedrift i bygge bransjen. De har i samarbeid med NTNU satt sammen en oppgave for å se vanskelighetsgraden og prisen på å implementere et slikt system.

Hensikten med dette konseptet er å vise at dette ikke trenger å være komplisert, og med enkle samt nærmere elementære kunnskaper innen tekniske installasjoner kan et slikt system designes over et semester av tre aspirerende ingeniører.

I diskusjonskapitlet vil resultatene prosjektet har generert fremmes. Det har blitt diskutert ulike metoder for måling, forskjellige metodikker for å finne disse metodene på, og forskjellige aspekter av liknende mekaniske komponenter.

## 5.1 Drøfting av resultatet

### 5.1.1 Kost nytte

Med den teoretiske økningen fra maks 6 pakker med stokker opp til 7 pakker per dag så er det en ca. 15% økning i effektivitet. Med en varierende andel prosesseringer per dag vil denne utregningen med det hypotetiske antall pakker gi en teoretisk økning på ca. 15% effektivitet, noe vi anser som en meget god økning for en estimert engangskostnad på om lag 80000 kroner.

### 5.1.2 MSA

Målet med MSA studien var å måle nøyaktigheten til prototypen og MSA studien konkluderte med at måleinstrumentene selv var veldig nøyaktige og at den største faktoren for usikkerhet i målingene var eksperimentets oppsett og menneskelige feil ved måling. Selv med en gjennomsnittlig feil på 15 mm over lengden til stokken så er det godt innenfor 5 centimeters kravet og ved 360-graders testen ble det bevist at det ikke var instrumentets feil.



Testen som ble gjort hadde mye forbedringspotensialer. Hjulet skulle ikke vært like eksponert fra overflaten på testbenken som den var, slik at det fikk en vinkel når det ble målt. Eller at det skulle blitt bestilt en fjæret arm som kunne blitt dyttet da stokken kom i kontakt med hjulet slik som det skal være på det teoretiske sluttproduktet.

## 5.2 Nummerering

Metoden som er i bruk hos Innlandet Treindustri i dag er å manuelt ta målinger med målebånd og skrive dimensjonene på stokken på et klistremerke som er lappet på enden av hver respektiv stakk. Konseptet oppgaven foreslår må kunne registrere stokken i en database for videre bearbeiding i fabrikken.

I samarbeid med måleapparatet foreslås implementeringen av en kodeleser. Både QR-koder eller barkoder kan brukes, men QR-koder har større lagringsplass, hvor den kan lagre 2500 tegn, i motsetning til barkoder som kan lagre 25. Med ønske om muligheter for å kunne legge inn kommentar til stakkene egner QR seg best.

Etter snakk med oppdragsgiver er det blitt forstått at leverandør av trestokkene i Telemark klistrer på disse lappene. Det vises til muligheter for at disse lappene, etter dialog med Østlaft, innehar muligheter for at leverandør kan sende stakker med tomme QR-koder og løpenummer.

Et forslag til nummerering av stakkene er system som bruker både bokstaver og tall.

Eksempelvis bokstav A til L for 12 måneder, XXXX stakkens nummer og årstall. Eksempelvis vil første stakk målt i juni 2023 bli: F-0001-23.

## 5.3 Prosessmetode

Systemet som helhet går gjennom flere prosesser, de kan i prinsipp separeres i fire partisjoner. Disse partisjonene er: Identifisering av stokk i målebanen, Initierting av målemekanismen, måling foretas, måling avsluttes og data overføres.

Før første besøk på fabrikken, var det flere tanker om hvordan systemet skulle lages. Den første metoden innebar et overhengende kamera som kunne foreta identifisering av stokken i målebanen, initiere målingen, samt ta selve målingen. Dette ble besluttet til å være en god teoretisk modell, men strider mot oppgavebeskrivelsen som sier at det skal være en enkel og ikke-invasiv metode for å ta lengdemål. Metoden ble ikke anvendt på grunn av begge primærpunktene fra oppgaverammen. I tillegg vil denne metoden være nokså kostbar med mindre muligheter for vedlikehold.

For selve målingen ble det også tenkt frem en metode som benyttet laser som måler tiden det tar for stokken å passere. Denne metoden ble forkastet tidlig da det ble kjent at det er svært varierende hastigheter på rullebåndet trestokkene skulle måles på.

### 5.3.1 Identifisering av stokk i målebanen

Hensikten med identifisering av stokkene på målebåndet er at Hundegger-operatøren kan ha en referanse til hvilke stokker som målingene referer til. Fra leverandøren er stokkene markert med merkelapp på framsiden av stokken, som er den samme siden som føres først inn i fresen. Her vil det være satt opp en QR-kode leser ved samlebåndet som vil automatisk lese av en QR-kode som vil være printet på merkelappen. Med dette vil det kunne settes opp handlinger i målesystemet som automatisk skriver løpenummeret til stokken inn i et Excel-dokumentet.

Det vil også være hensiktsmessig å ha det samme løpenummeret som QR-koden referer til skrevet med klartekst på lappen slik at operatøren kan enkelt lokalisere stokkene på samlebåndet. Dette er så operatøren enkelt kan fjerne målingene på stokker som må fjernes fra produksjon grunnet defekter, som var et viktig krav fra oppdragsgiver.

### 5.3.2 Initiering av målemekanismen

For å skille mellom målingene behøves det en måte å verifisere at det er en stokk i målesonen. Her kan det antas at hvis koderen ikke roterer, så er målingen ferdig. Da kan det derimot oppstå problemer om produksjonslinjen må stoppes under en måling. Dette vil skape store problemer som vil forårsake forsinkelser, spesielt hvis løfte-armen har hentet inn neste stokk som skal gjennom fresen. Derfor vil det være hensiktsmessig å verifisere at det er en stokk foran målehjulet. Med dette vil stopp i produksjonslinjen ikke føre til feil i målingene.

Initieringen av målingen vil bli gjort av en retroreflektert IR-laser. Plasseringen av denne vil være viktig for dens funksjon. Det er blitt bestemt at det er to variasjoner som kan løse dette problemet. Den enkleste og billigste løsningen vil være å montere en enkel IR-laser som er plassert på linje med av koderens midtpunkt slik at målingen vil starte når koderen er i kontakt med stokken. Dette vil føre til at systemet ikke måler tidligere enn programmet forventer, men kan derimot føre til feilmarginer grunnet forsinkelser i målesystemets datakomponenter.

En sekundær løsning vil være å ha to retroreflekterte IR-lasere, en før og en etter, som vil sørge for at målingen allerede har startet før stokken har truffet koderhjulet. Dette vil sørge for at eventuelle forsinkelser i koden ikke fører en feilmargin i målingen. Dette vil være et moment for videre testing, ettersom testing av dette systemet ble nedprioritert over testing av målesystemets nøyaktighet.

### 5.3.3 Målemekanismen

I målesystemets utviklingsprosess ble det fastslått at målingene burde være foretatt av en roterende inkrementell koder. Dette er et måleutstyr som er svært utbredt innen industri og tekniske installasjoner. Det finnes flere typer kodere (roterende absolutt koder, og inkrementell / absolutt lineær koder). Disse vil ikke egne seg for målemekanismen i installasjonen ettersom dette ikke er utstyr som kan måle større lengder.

Koderen som ble utvalgt for formålet er en *Sick DBS60 Core Series Incremental Encoder, 2000 ppr*. Denne, som beskrevet i navnet, har 2000 punkter pr. omdreining. Dette gir noe mer oppløsning enn det som er nødvendig, men denne oppløsningen er gunstig ettersom et

større koderhjul vil gi en lavere giring. Et større koderhjul vil også hjelpe mot at tømmerstokken sklir over hjulet på grunn av koderens interne moment blir redusert av større kraftarm.

For å sørge for at koderen er i kontakt med tømmerstokken under hele målingen, uansett defekter i stokken, må koderen kunne bevege seg kontrollert. For dette problemet finnes det allerede et produkt som løser dette problemet. Det finnes lett tilgjengelige koder-armer med fjæring. En slik arm vil kunne holde koderen i riktig posisjon for målingen, men kan også rotere. En slik arm vil også påføre en kraft mot tømmerstokken som sørger for at kontakten opprettholdes under hele målingen.

#### **5.3.4 Dataoverføring**

Etter stokken har passert målesonen vil laseren igjen registrere refleksen. Ved dette punktet vil programmet gi kommando for å sende lengdemålet til CSV filen på maskinen til hundegger-operatøren. Det er debattert om det skal skje over Ethernet, Bluetooth eller radio og det ble bestemt å benytte fysisk kobling med Ethernet for en den tryggeste og raskeste overførselen.

CSV filer kan bli automatisk fylt inn i et Excel-dokument. Her kan operatør av hundegger fylle inn kommentarer, eller fjerne linjer om det er stokker som må tas ut av produksjonslinjen. Hvis en stokk har styggheter sentrert på legemet, vil det være gunstig å legge inn kommentar om dette slik at den kan prosesseres fra senter og ut versus visa versa.

Dette prosessforløpet vil ta hensyn til eventuelle stopp i produksjonslinjen. Ved hjelp av en retroreflektert infrarød fotoelektrisk sensor som vil fortelle målesystemet om målingen er pågående. Koderhjulet vil da være stasjonær om produksjonslinjen må stoppe, som vil si at målingen vil fortsette uten noe utslag på målingen grunnet stans.

### 5.3.5 Kontrollpunkt

For å sikre at systemet måler presist bør en kjapp og enkel test bli utført før den fulle produksjonens begynnelse. Det anbefales å måle det første laget med stokker manuelt og skrive ned hvor lange de er for så å kjøre de stokkene gjennom og sammenligne resultatet. Hvis målingene er nær eller helt like, så kan produksjonen begynne.

En annen mulighet som ble tenkt var "platespiller test". ideen var å legge til en arm med en spiss og lage ett hakk i hjulet som armen kunne treffe. For å teste nøyaktigheten med denne metoden starter armen i hakket og så roteres hjulet rundt en gang til armen treffer hakket igjen. Dette skal resultere i nøyaktig en rotasjon som tilsvarer hjulets omkrets. Denne muligheten ble trukket fordi den hadde en del svakheter. For at den skulle være brukelig måtte armen kunne fjernes etter testen og selve testen vil gi slitasje på hjulet som senker levetiden på delen. Dette var særdeles lite gunstig ettersom den kun tester at koderen fungerer og ikke hele systemet.

## 5.4 FNs bærekraftsmål

Mål 9: industri, innovasjon og infrastruktur:

Vi knytter prosjektet opp mot mål 9 ved form av at målesystemet forbedrer infrastrukturen internt på fabrikken. Ved å automatisere måleprosessen, reduserer systemet behovet for manuelt arbeid. Det er en fin korrelasjon mellom dette og økt effektivitet i byggesektoren.

Mål 12: Ansvarlig forbruk og produksjon:

Effektiv måling av trestokkene bidrar til å redusere svinn og kan forbedre ressursstyringer som optimal utnyttelse av tømmer. I samarbeid med at Østlaft henter tømmer lokalt fra norsk skog sikrer dette en grønn og bærekraftig tilnærming til hyttebygging.

## 6 Konklusjon

Vi har i samarbeid med Østlaft og Innlandet treindustri på Rudshøgda utviklet et konsept for et ikke-invasivt målesystem for å måle tømmerstokker.

*Hvordan implementere en enkel og ikke-invasiv metode for å ta et lengdemål av trestokker og sende data til en ekstern computer.*

Proessen for å komme frem til en løsning gav innsyn i flere metodikker for produktutvikling. Skulle man lage alt fra grunn, eller benytte seg av allerede fungerende løsninger? Det ble tidlig enighet om å bruke eksisterende løsninger. Det ferdige målesystemet skal prinsipielt fungere slik som oppdragsgiver har ønsket.

Valgt løsning er et komplett målesystem med alt som Innlandet Treindustri sin fabrikk skulle trenge for å sette systemet i bruk. Målesystemet skal ta lengdemål av trestokker som skal prosesseres til bruk for laftede bygg. Selve måleapparatet er en inkrementell roterende koder med høy oppløsning som gir nøyaktige målinger godt innenfor kravene som ble satt. Systemet har i tillegg en fotoelektrisk sensor som gir klarsignal for initiering av innhenting av måledata, samt et kamera som tar bilder av QR-koder klistret på enden av stokkene for mating av data i csv-filer på en ekstern computer.

Utenfor den valgte løsningen ble det vurdert å bruke en mer avansert og i høyere grad invasiv metode som innebar å bruke et overseende kamera som setter et gridsystem, men dette jobbet dog for mye mot oppgavebeskrivelsen. De prinsipielle tankene som lå til grunnlag for den valgte løsninger var:

- Ikke modifisere fabrikkens i større grad enn et kutt i samlebandveggen
- Sørge for at løsningen blir økonomisk forsvart
- Ikke-invasivt design av måleutstyr

## 6.1 Videre arbeid

Systemet oppgaven foreslår er en teoretisk modell som må testes videre. Målesystemets prinsipielle funksjon er testet og verifisert slik at er innenfor oppdragsgivers krav, men her trengs det videre utvikling av programmet. I rekkefølge er neste steg for konseptets utvikling:

- Utvikle ny kode som inkluderer alle komponentene og loggfører dataen automatisk
- Koblingsskjema
- Designe braketter for komponentene
- Teste komplett målesystem i drift

# Litteraturliste

Admin. 2022. *What is Rotary encoder? Construction and workings of rotary encoder.*

[Internett]

[https://how2electronics.com/construction-working-rotary-encoder/#Advantages\\_Disadvantages\\_of\\_Rotary\\_Encoders](https://how2electronics.com/construction-working-rotary-encoder/#Advantages_Disadvantages_of_Rotary_Encoders)

[Funnet 27 april 2023]

Arduino UNO R3. U.D. [Internett]

<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>

[Funnet 12 april 2023]

Bartholin, K. Folkestad, A. 2023. *Hvor mye koster en sykemeldt ansatt.* [Internett]

<https://www.storebrand.no/bedrift/vare-tjenester/forsikring/helseforsikring-for-bedrifter/hvor-mye-koster-en-sykemeldt-ansatt>

[Funnet 15 mai 2023]

Bastow, J. 2022. *How to do a SWOT analysis of a product.* [Internett]

<https://www.prodpad.com/blog/swot-analysis-product/>

[Funnet 25 april 2023]

Elfadistrec.no. 2023. [Internett]

[https://www.elfadistrec.no/Web/Downloads/\\_t/ds/8-0010-7000-0010\\_eng\\_tds.pdf](https://www.elfadistrec.no/Web/Downloads/_t/ds/8-0010-7000-0010_eng_tds.pdf)

[Funnet 22 mars 2023]

Greve, K. 2022. *Store norske leksikon.* [Internett]

<https://snl.no/frih%C3%A5ndstegning>

[Funnet 13 mai 2023]

Helsedirektoratet. U.D. 2016. *Helsedirektoratet.* [Internett]

<https://www.helsedirektoratet.no/veiledere/sykmelderveileder/diagnosespesifikke-anbefalinger-for-sykmelding/muskel-og-skjelettsystemet-l/leggankelhael/brudd-i-calcaneus-174-brudd-i-handfot>

[Funnet 28 april 2023]



Multi-circuit-boards. U.D. *Multi-circuit-board*. [Internett]

<https://www.multi-circuit-boards.eu/index.html>

[Funnet 12 april 2023]

Nedelkovski, D. 2022. *How to mechatronics* [Internett]

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>

[Funnet 16 mai 2023]

Kenton, W. 2023. *SWOT analysis: how to with table and example*. [Internett]

<https://www.investopedia.com/terms/s/swot.asp>

[Funnet 11 mai 2023]

Lin, Q. 2022. *The magic of scanning: Science behind the QR code*. [Internett]

<https://illumin.usc.edu/the-magic-of-scanning-science-behind-the-qr-code/>

[Funnet 17 mai 2023]

Quality-one. U.D. *Quality-one*. [Internett]

<https://quality-one.com/msa/>

(Funnet 2 mai 2023)

Rossing, Nils Kr., Stausland, C. 2022. *Lag en barometrisk høydemåler* [Internett]

<https://www.ntnu.no/documents/2004699/12108297/Grunnkurs+programmering+Arduino+-+%28CanSat%29+1.2.pdf/4ce3a7a7-d0f8-4832-8e57-954953c42331>

[Funnet 16 mai 2023]

RS Components AS. 2023. *Arduino, Uno Rev 3*. [Internett]

[https://no.rs-online.com/web/p/arduino/7154081?cm\\_mmc=NO-PLA-DS3A--google--CSS\\_NO\\_NO\\_Raspberry\\_Pi\\_%26\\_Arduino\\_%26\\_ROCK\\_%26\\_Development\\_Tools\\_Whoop--\(NO:Whoop!\)+Arduino--7154081&matchtype=&pla-339391921421&gclid=Cj0KCQjw6cKiBhD5ARIsAKXUdybqvuj0Uli854xOodCTkK1uxnGhT0BABxt53SABiOB7hsBcJ4F3ZWsaArkOEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds](https://no.rs-online.com/web/p/arduino/7154081?cm_mmc=NO-PLA-DS3A--google--CSS_NO_NO_Raspberry_Pi_%26_Arduino_%26_ROCK_%26_Development_Tools_Whoop--(NO:Whoop!)+Arduino--7154081&matchtype=&pla-339391921421&gclid=Cj0KCQjw6cKiBhD5ARIsAKXUdybqvuj0Uli854xOodCTkK1uxnGhT0BABxt53SABiOB7hsBcJ4F3ZWsaArkOEALw_wcB&gclsrc=aw.ds)

[Funnet 22 mars 2023]

Sajitha. 2022. *How do you write a product SWOT analysis*. [Internett]

<https://www.opengrowth.com/resources/how-do-you-write-a-product-swot-analysis>

[Funnet 11 mai 2023]

Skolediskusjon.no. U.D. [Internett]

<https://skolediskusjon.no/kompendier/markedsfoering-ledelse/swot-analyse>

[Funnet 11 mai 2023]

Skolehuset.no. 2023. *Arduino starter kit beginner inkl. Arduino UNO REV 3*. [Internett]

[https://www.skolehuset.no/products/arduino-starter-kit-beginner?variant=41071203483857&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Google+Shopping&currency=NOK&gclid=Cj0KCQjw6cKiBhD5ARIsAKXUdyaGTU\\_pi drEAVYSfrpmYA-JKA8sdaZOsOeXhflTwpI-AKxyv7U5KUaAnWaEALw\\_wcB](https://www.skolehuset.no/products/arduino-starter-kit-beginner?variant=41071203483857&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Google+Shopping&currency=NOK&gclid=Cj0KCQjw6cKiBhD5ARIsAKXUdyaGTU_pi drEAVYSfrpmYA-JKA8sdaZOsOeXhflTwpI-AKxyv7U5KUaAnWaEALw_wcB)

[Funnet 12 mai 2023]

Sick, Sensor intelligence. [Internett]

<https://docs.rs-online.com/2a0c/A700000007305624.pdf>

[Funnet 22 mars 2023]

Volchko, J. *Lumitex LLC* [Internett]

<https://www.lumitex.com/blog/prototyping-methodology>

[Funnet 19 April 2023]

Wikipedia, 2021. *Wikipedia*. [Internett]

[https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement\\_system\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Measurement_system_analysis)

(Funnet 2 mai 2023)

Wikipedia. 2023. *Wikipedia* [Internett]

[https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric\\_sensor](https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_sensor)

[Funnet 21 mars 2023]

Youtube.com, Fireship. 2022. *Arduino in 100 Seconds*. [Internett]

[Arduino in 100 Seconds](#)

[Funnet 19 mai 2023]

Østlaft. U.D. 2023. *Østlaft*. [Internett]

<https://www.ostlaftbygg.no/fabrikken>

[Funnet 19 februar 2023]

# Vedlegg

Vedlegg ligger som egen ZIP fil.

1. Målinger Excel dokument
2. SolidWorks filer
3. Arduino Koden