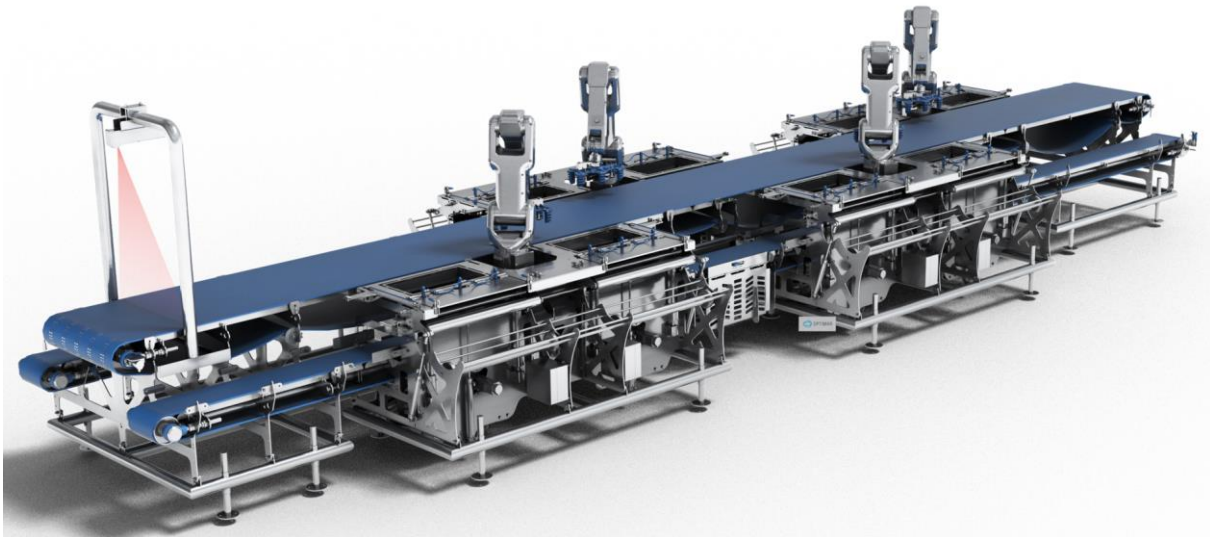


Sluttrapport FHF-prosjekt 901490

# Automatisk pakkebord

Rapport utarbeidet av: Daniel Kvam, Andreas Flem Norman og Johan Espelund, 16.08.2023



## Innhold

Sammendrag .....	3
Innledning.....	3
Mål.....	4
Gjennomføring .....	5
Gjennomførte tester .....	6
Resultater .....	7
Hovedfunn .....	12
Konklusjon .....	12
Leveranser .....	13
Prosjektdeltakere .....	13

## Sammendrag

I dette prosjektet som har pågått mellom 2018-2023 var målet å komme frem til en metode for å beregne filet vekt ved bruk av kamerateknologi, automatisk grade filet til riktig vektklasse og vekt optimalisere forpakningen for å oppnå en sluttvekt nært 6,8 kg.

Vi har igjennom prosjektet designet flere ulike konsepter som har blitt gjennomgått sammen med deltakere i prosjektet der det har blitt diskutert kapasitet, nøyaktighet og byggemål.

Basert på tilbakemelding fra prosjektdeltakere og interne vurderinger har vi kommet frem til et produkt som er kompakt, modulært, har tilfredsstillende nøyaktighet og tilfredsstillende kapasitet. Produktet er direkte skalerbart opp til 4 roboter per linje og er fleksibelt i forhold til plassering langs en pakkelinje.

En «unit» består av én robot med to pakkestasjoner.

## Innledning

Det er i dag 5 autolinefartøy og 3 fabrikktrålere som fileterer hvitfisk ombord i Norge. Flere fartøy har konsesjon, men utnytter den ikke fordi lønnsomheten for å produsere hodekappet og sløyd fisk (HG) er bedre.

Årsakene til dårligere lønnsomhet for de som produserer filet er sammensatte. En tråler som produserer hodekappet og sløyd fisk har en enklere fabrikk som gir lavere investerings- og vedlikeholdskostnader. Driften av et slikt fartøy er enklere og bemanningen lavere. Når bemanningen blir lavere gir dette normalt en høyere lønn til hver ansatt, det blir med andre ord en vridning bort fra de som produserer filet av lønsmessige årsaker.

Det har de senere årene blitt utviklet mye avansert utstyr for å automatisere og rasjonalisere den norske fiskeflåten. En utvikling som har kommet både HG-produsenter og filetprodusenter til gode. Den mest tidskrevende operasjonen om bord i en båt som produserer filet, er pakkingen av filet. Det er en manuell operasjon hvor pakkeren får en bakke med ca. 6,8 kg filet (porsjonert av en vektgrader), som pakkes i en kartong. Hvert filetlag skal ligge adskilt med plast som skille («Interleaved»). Det gjøres slik for at det skal være mulig å ta løs en og en filet i frossen tilstand.

Hvor mye en pakker klarer å pakke er avhengig av størrelsen på fileten, men i gjennomsnitt regner man 200 kg/time. Det vil si at man pr. pakkeplass kan pakke 4,4 tonn på 22 timer som en maksimal produksjon. På en stor norsk filetråler som *Granit* har man i dag produksjonskapasitet på opp mot 40 tonn filet i døgnet. Da er det for det meste stor filet og 6 pakkere på pakkebordet. I gjennomsnitt vil det være en kapasitet på 6 mann x 4,4 tonn, tilsvarende 26 tonn filet i døgnet. Det betyr 12 personer ombord som i hovedsak står for pakkingen. Samtidig har båten to mannskap, og til sammen sysselsettes 24 personer knyttet til pakkingen. Dette er den desidert mest arbeidskrevende operasjonen ombord.

For å bedre den totale lønnsomheten mht. ombordproduksjon av filet, er det nødvendig med en automatisering av prosessen med pakking av fileter i kartonger (6,81 kg). Dette vil gi den største besparelsen, og øke lønnsomheten for dagens filetproduserende båter og legge til rette for at flere båter velger å drive med filet i fremtiden.

## Mål

*Prosjektets hovedmål er å automatisere pakkingen av filet i 6,8kg kartonger med plastskille mellom fileter. Det skal være mulig å redusere bemanningen til en eller to operatører, som foretar sluttkontroll og legger på lokket. Kapasiteten skal være skalerbar, og systemet skal få plass på et område tilsvarende dagens arealbruk.*

### *Delmål*

- *Beregne filetvekt ved hjelp av 3D kamera og elektronisk bildebehandling innenfor 5% avvik*
- *Automatisk gradering av filet til riktig vektklasse ved hjelp data fra punktet over med maks 5% avvik.*
- *Vekt optimalisering av forpakningen for å oppnå en sluttvekt nært 6,8kg*
- *Benytte informasjon fra bildebehandlingen til å programmere robot*
- *Optimalisert fordeling av pakkejobber mellom roboter slik hver robot får arbeide opp mot sitt potensiale*
- *Automatisk rotere og plassere filet fra transportbånd til kartong ved hjelp av roboter slik at det oppnås en god fordeling i kartongen.*
- *Automatisk legge inn plastskille i bunn, topp og mellom fileter*
- *Automatisk distribusjon av fryserammer inn og ut av robotene sine respektive arbeidsområder på en slik måte at robotene kan opprettholde sitt arbeid under skiftet av ramme.*

## Gjennomføring

**2018:** Tidlig i prosjektet samlet vi oss flere ganger både internt i Optimar og sammen med styringsgruppen i prosjektet, og vi diskuterte flere forslag til hvordan fileten skulle vekt optimaliseres, og valg av robot teknologi. Optimar laget flere produktskisser på utforming av produkt. Det ble gjort deltesting av vektestimering ved hjelp av 3d kamera der vi scannet tinte fryst torskefilet fra *Granit*. Testing av prinsipp for automatisk handlegging og «interleave»-pakking ble testet i et tilsvarende pågående FHF-støttet prosjekt (#901369), der vi pakket makrell i 10 kg kasser med plastikk lag i bunn, mellom hvert lag og i topp av kasse.

**2019:** Påbegynt design av pakkestasjoner tilpasset fileten. Vi bruker samme prinsipp som på tidligere makrellprosjekt med noen forbedringer. Forbedringene består blant annet av innkjøpte komponenter og noe redesign. Vi gikk til innkjøp av to stykk Omron Adept-roboter, og det ble laget opphengs rammer til robotene. Software ble også videreutviklet og tilpasset torskefileten. Prosjektet ble vist på diverse foredrag og messer og ble presentert som et utviklingsprosjekt med støtte fra FHF. Det har vært stor interesse rundt prosjektet og det har blitt forsøkt tegnet inn i flere fartøy. Test av stabilitet på pakkestasjoner og robotprogramvare ble også testet dette året på makrellprosjektet.

**2020:** I begynnelsen av dette året fikk vi en del tilbakemeldinger i prosjektet på at roboten slik den var tenkt i ramme blir for plasskrevende i en trålerfabrikk, spesielt var høyden av produktet ei utfordring. Det ble også uttrykt en bekymring for at installasjon av dette produktet i en eksisterende fabrikk ble komplisert.

Optimar begynte da prosessen med å se på andre robotløsninger med mindre byggemål. I denne sammenheng fant vi en type enarmsrobot som var ny på markedet fra en velkjent produsent. Denne roboten har tilfredsstillende hastighet og vektkapasitet, den har «foodgrade»-sertifisering og en IP-grad på 69K og et minimalt byggemål ut fra funksjon. Vi valgte da å gjøre et redesign på pakkestasjonene for å kunne tilpasse disse til en ny robottype, og utviklet pakkestasjonen til å bli modulær. Det vil si at flere pakkestasjoner kan settes i serie og parallell for å oppnå ønsket kapasitet og gradering på linjen uten å gjøre redesign på pakkestasjonen. Kamera, vektestimering og vekt optimaliseringsteknologien er lik utgangspunktet, og samtidig kontinuerlig forbedret gjennom erfaringene Optimar har gjort seg på kamerateknologi.

**2021:** Optimar begynte fabrikasjon av nyutviklede pakkestasjonen og gikk til innkjøp av enarmsrobot (artikulert arm). Roboten ble levert i august dette året og programmering startet i september. På grunn av Covid-19 restriksjoner og påfølgende utfordringer i etterkant av pandemien, hadde vi problemer med fremdrift i prosjektet.

**2022:** Ny robotprogrammerer måtte læres opp til å programmere Fanuc robot. Arbeid med programmering av pakkestasjoner ble avsluttet i siste halvdel av dette året og simulator for komplett pakkelinje ble etablert. Prototype av plukkeverktøy ble utviklet og laget av Optimar, etter at erfaring i prosjektet med innkjøpte plukkeverktøy ikke var gode nok for formålet.

**2023:** Testing og «fintuning» av pakkebord med fiskefileten ble gjennomført samt industrialisering av plukkeverktøyet.

## Gjennomførte tester

### **Vektestimering og optimalisering**

- Skannet volum på fiskefilet i forskjellige vinkler
- Beregne vekt på fiskefilet i forskjellige vinkler (inkl. repetisjonsnøyaktighet).
- Stresstesting av linjeskanner kamera og software/PC
- Nødvendig avstand mellom fiskefileter er avklart
- Vektoptimalisering av kasser og grading.

### **Robot og plukkeverktøy**

- Test av plukkeposisjoner og «belt tracking» (nøyaktighet)
- Plasseringsnøyaktighet av filet i kasser
- Test/vurdering av plukkeverktøy
- Plukkehastighet
- Stresstesting av robot med data fra PC

### **Pakkestasjon**

- Mekanisk test av pakkestasjon og vurdering av design
- Softwaretest av pakkestasjoner
- Stresstesting av pakkestasjoner inkl. plastlegger
- Test av logistikktransportører med rammer

## Resultater

### Vektestimering:

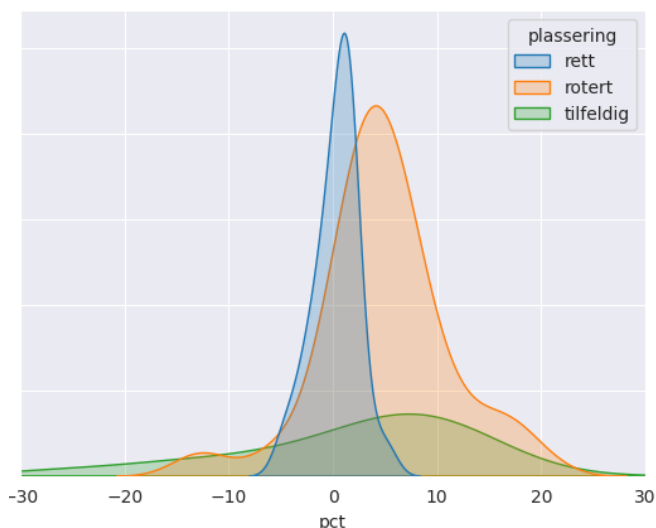


Vektestimering og vektoptimalisering av kasser blir utført ved hjelp av linjeskannerkamera som skanner volum av produkt. Vektoptimaliseringen bruker data fra volumestimeringen av filet til å bygge opp kassen til å nå en nærmest mulig prevalgt vekt. Resultatet vil variere i henhold til utvalget av filet størrelser som er tilgjengelig innenfor samme grading.

Kamera brukes også til å sende plukkekoordinater for de ulike filetene til roboten.

### Testresultater:

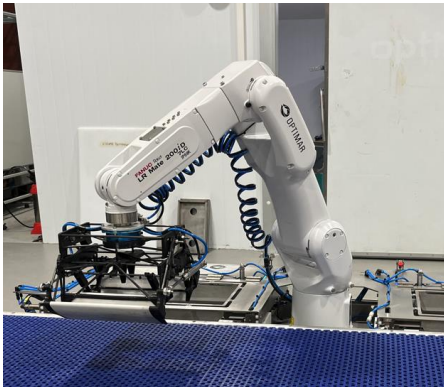
Vi brukte fem fileter for å teste repetisjonsnøyaktighet. To av de ble brukt til å finne forholdet mellom volum og vekt, og tre for å dokumentere avvik. Vi antok et lineært forhold mellom volum og vekt, og sendte de tre filetene gjennom flere ganger mens vi noterte plassering, rotasjon, faktisk vekt, målt volum, antatt vekt, og avvik. Til sammen ble alle de fem filetene sendt gjennom skanneren 130 ganger. Dersom filetene ble sendt med lengderetning lik fartsretning ( $n=29$ ) fikk vi et standardavvik på 2,5% og største avvik på 5,2%. Hvis vi roterte filetene ( $n=61$ ) økte standardavviket til 6,1% og største avvik til 19%. Når vi nærmest kastet filetene på transportøren ( $n=21$ ), som indikert med «tilfeldig» i figuren under, økte standardavviket ytterligere til 11% og største avvik til 26%.



## vektopimalisering

Programmet kjenner til alle fileter som har passert skanneren, hvilken vekt de har, rotasjon, lengde, bredde, høyde, gradering, posisjon på transportør, avstand til kasser etc. Den vet hvilke kasser en filet kan legges i, om disse kassene er fulle, i ferd med å fylles, er på vei ut, trekker plast, eller om en kasse har prioritet av ulike grunner. Det kan være fordi den har ventet lenge på en filet av riktig størrelse, eller fordi man prøver å unngå å fylle for mange kasser på samme tidspunkt. Det gjelder for systemet som helhet, fordi man vil ha flest mulig kasser å spille på til enhver tid. Men det kan også gjelde med tanke på utmating, at man ikke vil mate ut to kasser på samme transportbånd samtidig. Alle disse faktorene blir kontinuerlig vurdert og filetene blir plassert deretter.

## Robotløsning:



Robotløsningen som har blitt valgt for automatisk pakkebord er en 6-akset enarmsrobot. Vi har valgt denne typen på grunn av størrelse, vekt, fleksibilitet og IP grad. Service og vedlikehold er også enkelt på denne type roboter. Robotens vekt er 25 kg, som gjør det enkelt å bytte den ut i forbindelse med overhaling/utskifting, samt at vekten og størrelsen muliggjør retrofitting.

Roboten er styrt både fra robotkontroller og PLS med kommunikasjon til og fra vektestimering og vektopimaliserings-PC. Robotkontrolleren fungerer som slave, mens PLS-en står for overordnet styring av hele modulen (pakkecellen).

Plukkeverktøyet for fileten har blitt utviklet av Optimar og kan leveres i forskjellige størrelser med tanke på produktstørrelsen som skal plukkes. Vi har også søkt patent for den tekniske løsningen av plukkeverktøyet.

## Testresultater:

For å teste plukkeposisjonenes nøyaktighet ble robotens sekvens kjørt som normalt frem til én filet ble plukket opp i gripeverktøyet. Deretter ble programmet stanset, og vi kunne på den måten vurdere filetenes plassering i griperen nøye. Plukkepunktet som finnes via lasertrianguleringen og videre sendes til roboten tar blant annet utgangspunkt i filetenes nakkelinje; denne skal så vidt mulig treffe griperens kortside for å muliggjøre god avlevering i kasse hver gang. Sistnevnte samt filetenes midtpunkt i volum lå til grunn for vurderingen av filetenes plassering etter oppsamling. Det er å foretrekke at fileten ligger jevnt fordelt på begge sider av gripeverktøyet slik at avleveringen ikke fører til vridning i fallet. Det er verdt å nevne at det forekommer stor variasjon i filetenes form og



fasong, hvilket gjør det vanskelig utføre kontroll via oppmåling - derfor ble det konkludert av en visuell fremgangsmåte ville være den mest fornuftige.

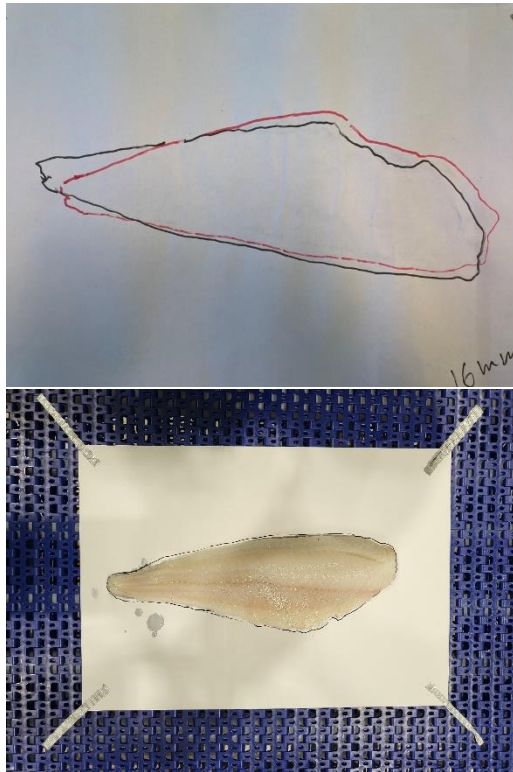
Resultatene av testen ble vurdert til å være tilstrekkelige for funksjonen vi ønsker å oppnå; filetenes nakkelinje løper langs den ene kortsiden av gripeverktøyet, og fileten er mer eller mindre sentrert langs griperens midtlinje. Avvik kan forekomme ved oppsamling av fileter som ikke har den typiske filetformen som ligger til grunn for kamerasystemets utvikling. Det kan antas at dette vil bli forbedret over tid etter hvert som en får forbedret og justert systemet.

I samme stil som ovenfor ble applikasjonens «tracking-funksjon», altså robotens evne til å kompensere for produktets posisjonsendring på båndet, vurdert visuelt. En pausefunksjon ble midlertidig inkludert i sekvensen etter at «trackingen» var aktivert, og vi kunne på den måten se roboten “sveve” over fileten med båndets hastighet.

Også her ble vurderingen at funksjonen er tilstrekkelig nøyaktig for vårt behov.

Testing av gripeverktøy har blitt utført ved flere anledninger; hovedsakelig på grunn av ulike versjoner under griperens utvikling, men også fordi denne funksjonen har vist seg å være en signifikant utfordring. Det benyttede konseptet for oppsamling og avlevering av fileter er i vårt tilfelle en innovasjon, og det gjenstår elementer av dette som fremdeles ikke er fullstendig utledet. Sistnevnte dreier seg i hovedsak om hvordan mekanismen påvirker filetenes posisjonsendring fra det samles opp til det ligger i kassen; her er det ønskelig at fileten ikke flytter seg i forhold til griperen, noe som har vist seg å være svært utfordrende i praksis. Utviklingen av verktøyet viser dog til stadig bedre resultater. For å vurdere griperens evne til å utføre plukke- og leggefunksjonen har vi isolert to deler av den og testet disse separat. Den første delen inneholder oppsamling og avlevering, og den andre tar for seg bevegelsen fra oppsamlingspunkt til avleveringspunkt.

Testen for oppsamling og avlevering ble utført med stillestående transportbånd. Fileten ble lagt på båndet, og roboten manuelt posisjonert for oppsamling. Etter oppsamlingen ble griperen åpnet ved ulike høyder (0mm, 80mm, 160mm), hvor det høyeste dropp-punktet omtrent tilsvarer den maksimale høyden en filet vil bli avlevert fra under produksjon. Deretter ble filetenes nye posisjon vurdert opp mot den opprinnelige posisjonen. I tidligere faser har denne testen blitt utført med visuell vurdering, mens det for den nyeste versjonen av gripeverktøy ble benyttet et underlag med silhuett av filetenes posisjon før og etter behandling for å muliggjøre måling av eventuelle avvik.



Bildene over viser metoden brukt for markering av filet før (høyre) og etter (venstre) test. Svart silhuett representerer opprinnelig posisjon, mens rød representerer posisjon etter avlevering.

Resultatene viser hhv. 9.93mm, 21.93mm og 26.07mm i gjennomsnitt for test med tre ulike avleveringshøyder, hvilket indikerer en sammensatt årsak for avvikene: det forekommer relativt små avvik ved oppsamling og avlevering uten høydeforskjell, og forskjellene i avvik ved ulike høyder tyder på at avleveringshøyden har en betydelig effekt på resultatet. Førstnevnte vil fokuseres videre på under videreutvikling av pakkebordet. Den maksimale høyden benyttet under disse testene er riktignok ikke representativ for en fremtidig versjon av applikasjonen. Det finnes planlagte løsninger for forbedring av robotens- og griperens fremkommelighet rundt pakkestasjonene - disse krever omfattende redesign, og vil bli tatt med videre i produktifisering av systemet.

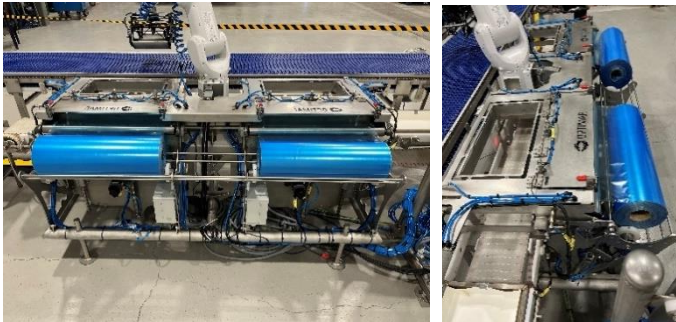
Testen for bevegelsen fra oppsamlingspunkt til avleveringspunkt ble utført med visuell kontrollering. Det dreier seg her om testing av motholds mekanismer som er installert på gripeverktøyet; disse forhindrer at filetenes posisjon i griperen blir påvirket av de fysiske kreftene som oppstår når den fraktes fra bånd til pakkestasjon. Flere varianter av mekanismen har blitt utprøvd, med fokus på vektbesparelse uten å gå kompromiss med funksjon. Som resultatet av denne utviklingen er oppdelte motholds punkter belastet med fjæring som presser mot fileten etter oppsamling. Testen ble gjennomført ved flere hastigheter, men i teksten under drøftes kun resultatene oppnådd ved full hastighet – det er denne hastigheten som tilsvarer et reelt tilfelle.

Som forventet repositioneres filetene fullstendig uten noen form for mothold; de fleste falt av gripeverktøyet. Det ble forsøkt med ett enkelt mothold, men dette tillot at filetenes fremre og bakre del kunne repositionere seg under bevegelse, og dermed føre til en ugunstig avlevering i kasse. Det ble også forsøkt med en motholds plate som fylte hele griperen i lengderetning – denne sørget for at filetene ble liggende i ro, men denne variantens størrelse og vekt ble etter hvert revurdert. Den siste,

og mest vellykkede, varianten består av to individuelle motholds punkter, én ved hver kortside. Denne løsningen er også laget slik at en kan skalere antall motholds punkter med lengden av griperen, og legge til eller fjerne punkter ved behov.

Resultatene av tester utført med den sistnevnte motholds varianten var gode – det ble ikke observert posisjonsendring i noen av tilfellene, og det er derfor antatt at bevegelsen fra bånd til pakkestasjon ikke påvirker filetenes posisjonering ved avlevering.

### **Pakkestasjonsløsning:**



Pakkestasjonsløsningen som vi har valgt er modulbasert. I hver modul finnes det to pakkestasjoner, med tilhørende heiser. Heisen løfter fryserammer fra logistikktransportøren til plastleggingsposisjon, plast blir trukket over kassen og kappet og kassen går videre opp i trakt klar for pakking av fileten. Pakkestasjonen er optimalisert i forhold til effektivitet. Det er plassert en robot på hver pakkebordmodul som pakker i to kasser.

Pakkestasjonen er laget i rustfritt stål og det har blitt lagt vekt på vaskbarhet og at komponenter skal tåle normal reingjøring i forhold til miljø.

På en komplett pakkebordlinje med samme kapasitet som det som er nevnt på *Granit*, er det tiltenkt å kunne plassere fire pakkebordmoduler med totalt 4 roboter og plass til 8 kasser. Operatøren vil da kunne velge ønsket grading på de forskjellige pakkelokasjonene.

Leggemønster og antall fileter per lag vil operatøren på forhand kunne velge for hver enkelt grading. Totalvekt på kasser kan også velges fra HMI-panel før produksjonen starter.

### **Testresultater:**

Software-test for pakkestasjonene har bestått av både individuelle og sekvensielle tester. Hver funksjon med software-styring er sjekket grundig i manuell modus (hvor kun aktuelle komponenter for den gitte funksjonen styres). Under denne kategorien ligger lyssensorer, heis, plastbuffer, plastklemme, plastklype og plastkutter, for begge pakkestasjoner samt en felles logistikktransportør. Fullstendig sekvens med samtlige funksjoner er også testet – her finnes to fokusområder for testingen: sekvensen skal skje korrekt slik at alle funksjoner gjør det de skal til riktig tidspunkt, og

begge pakkestasjoner skal fungere samtidig. Sistnevnte må testes for å unngå konflikter rundt delte komponenter, så som logistikktransportør og robot.

Resultatene fra test indikerer at alle funksjoner og sekvenser fungerer etter intensjon, og det er ikke registrert noen software-relatert konflikt mellom pakkestasjonene.

Mekanisk design av pakkestasjon er gjennomgått. Det har kommet frem flere punkter vi ønsker å optimalisere før første levering av en komplett prototype, dette for å sikre en mer stabil drift over tid.

## Hovedfunn

- Vekt på filet kan estimeres ved hjelp av kamera teknologi.
- Interleave-pakking av filet i 6.81 kg kasser kan automatiseres.
- Det er mulig å bruke robot med egnet plukkeverktøy for å flytte filet fra transportband til kasse på en kontrollert måte, samt bygge mønster i kasse.

## Konklusjon

Prosjektgjennomføring:

Prosjektet have blitt en del forsinket på grunn av Covid 19 og interne restruktureringer. Selve prosjektgjennomføringen internt har fungert bra mellom de forskjellige disipliner.

I 2020 fikk vi tilbakemelding på at vårt design på pakkebord var for plasskrevende og var for omfattende å installere i båt. Vi begynte da et redesign prosess for å gjøre vårt design mer kompakt og modulært, noe som gjorde at vi gikk delvis tilbake til start.

Produkt:

Optimar har klart å utvikle et automatisk pakkebord som totalt sett fungerer bra. Pakkebordet har per dags dato noen begrensninger på den største type filet som må brettes i kassen. Produktet er modulbasert og kan tilpasses til kundens ønske basert på antall grading, kapasitet, leggemønster og plastlag i kasse. Pakkebordet fungerer også med bionedbrytbar plast.

## Leveranser

- ✓ *Referat fra i møte i SG*
- ✓ *Referat fra i møte i SG*
- ✓ *Referat fra i møte i SG*
- ✓ *Referat fra i møte i SG*
- ✓ *Faglige delrapport fase 1*
- ✓ *Faglige delrapport fase 2*
- ✓ *Faglige delrapport fase 3*
- ✓ *Sluttrapport*
- ✓ *30.04.2020 Faktaark*
- ✓ *30.04.2020 Populærvitenskapelig artikkel*
- ✓ *30.04.2020 Konseptmaskin*

## Prosjektdeltakere

Andreas Flem Norman

Vidar Pettersen

Marius Nedreliid

Daniel Kvam

Johan Espelund

Lars Andre Langøyli Giske

*Av prosjektdeltakere har det vært mange flere – takk for alle små og store bidrag.*