

Singulering

FHF-Prosjekt #901713

20.08.2025



Rapport utarbeidet av:

Lars Giske



Johan Espelund



Andreas Flem



1. Sammendrag

Gjennom flere år har FHF satset systematisk på å automatisere råstofflyten om bord i fiskefartøy. Hensikten er å oppnå bedre kvalitet, redusere kostnader og redusere tungt og ensidig gjentakende arbeid.

En forutsetning for mer automatisering av enkeltprosesser, som for eksempel mating av en sløyemaskin, er at fisk kommer singulert inn til maskinen. Singulert fisk vil si fisk som er separert (ikke ligge oppå hverandre osv.) i en jevn flyt (1 fisk hvert sekund, for eksempel). Å separere fisk fra hverandre ut ifra en trål (eller etter innpumping) har typisk vært en manuell oppgave.

Formålet med prosjektet er å utvikle en løsning som gjør det mulig å automatisere singulering av fisk om bord i trålere. For å løse dette har Optimar vurdert mange konsepter og dratt nytte av mange års erfaring med problematikken, både innenfor laks og hvitfisk. Hovedkonseptet har vært at en robot kan gjøre dette med intelligent sensorikk (herunder maskinsynsystem) samt ved utvikling av gode gripeverktøy.

Prosjektet har ført til flere lovende konsepter som baserer seg på å splitte opp problemstillingen i to – grovsingulering og finsingulering, der finsingulering kan ende opp i direkte mating av sløyemaskiner.

Det har vært fokus gjennom hele prosjektet at dette skal kunne installeres om bord i eksisterende trålere som primærmarked, da det ikke blir bygget mange nye trålere.

English summary

Over several years, FHF has systematically invested in automating the raw material flow on board fishing vessels. The aim is to achieve higher product quality, reduce costs, and lessen heavy, repetitive, and monotonous manual work.

A prerequisite for further automating individual processes, such as feeding a gutting machine, is that the fish arrive at the machine in a singulated form. Singulated fish means fish that are separated (not stacked on top of each other, etc.) and moving in a steady flow (for example, one fish per second). Separating fish from each other directly from a trawl (or after pumping) has typically been a manual task.

The purpose of this project is to develop a solution that makes it possible to automate the singulation of fish on board trawlers. To achieve this, Optimar has explored various concepts and leveraged its extensive experience with the issue, both within salmon and whitefish processing. The main concept has been that a robot can perform this task using intelligent sensor systems (including machine vision) combined with the development of effective gripping tools.

The project has resulted in several promising concepts based on dividing the challenge into two stages, coarse singulation and fine singulation, where fine singulation can directly feed gutting machines.

Throughout the project, there has been a focus on ensuring that the solution can be installed on board existing trawlers as the primary market, since very few new trawlers are being built.

Underleverandøren Gripwiiq, en produsent av sugekopper som har blitt benyttet i tidligere prosjekter, ble tidlig involvert som leverandør av prototyper for denne applikasjonen. Selve vakuumeringsystemet ble designet og bygget internt, slik at ønskede egenskaper (luftmengde, vakuumnivå og vakuumeringstid) kunne utvikles som ønsket og testes parallelt med testing av produkthåndtering.

Andre leverandører av sugekopper ble også involvert og det ble forsøkt med 3D-printede varianter for å kunne videreutvikle basert på testresultater. Totalt har omtrent 20 varianter blitt testet.

Grunnet utilfredsstillende resultater som tyder på at en robotløsning alene ikke vil kunne løse problemstillingen, ble det konkludert med at en todelt løsning er en bedre strategi for videre utvikling. En slik løsning tenkes å bestå av det som heretter kalles grovsingulering, hvor målet er å redusere problemet fra tre til to dimensjoner ved å fjerne overlapp mellom fisk og finsingulering, hvor mating av maskineri er målet. Dette utdypes i kapittel 5.

Det ble tidlig i prosjektet gjennomført en idémyldringsprosess på et overfladisk nivå for å danne en basis med mulige singuleringskonsepter. Noen av disse, sammen med senere påtenkte konsepter, ligger til grunn for grovsinguleringsvariantene som har blitt prototypet digitalt. Disse variantene består hovedsakelig av mekaniske konstruksjoner med så få aktuerende komponenter som mulig. Årsaken til dette er at aktivering stiller sofistikerte krav til sensorikk på grunn av variasjonene som forekommer ved innkommende fisk. Det har derfor blitt forsøkt å oppnå tilstrekkelig grovsingulering ved bruk av prinsipper som slår røtter i fysikk og statistikk, som vibrasjonsenheter, sentrifugalkraft med breddebasert tilbakemating og lineær transport med dropp til middelt fordelingseenhet.

Optimar har ikke fasiliteter til å gjenskape mengden og kompleksiteten av fisk i et hal. Grunnet dette, samt prosjektets størrelse og kompleksitet, har prototyping for det mekaniske blitt utført digitalt i form av simuleringer. For simuleringer har NTNU Ålesund Manulab blitt engasjert, i tillegg til at Optimar parallelt har bygget opp egen kompetanse på dette. Simuleringsplattformen som ble benyttet heter Isaac Sim og er en del av NVIDIA Omniverse.

Isaac Sim er en sanntidssimulator og fysikkmotor med lovende grensesnitt for importering av 3D-modeller, herunder deformerbare modeller (fisk) og med gunstige alternativer for "scripting" som fasiliterer skreddersydde testprotokoller utover det rent fysiske og visuelle. Også her er det muligheter for ekstra utnyttelse av forskings- og utviklingsarbeid med tanke på prosjekt 901991, som benytter samme plattform.

Flere konsepter ble evaluert men forkastet, og en har fokusert på å simulere de konseptene en har hatt mest tro på. Følgende oversikt forklarer i korte trekk de simulerte konseptene for grovsingulering:

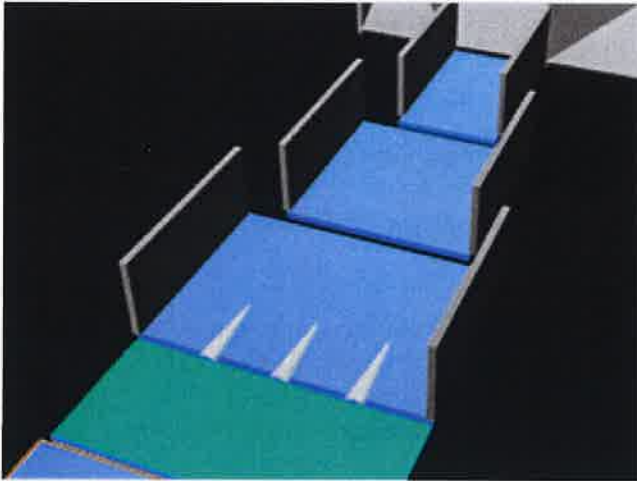
"Divider"

For denne løsningen ser en på å splitte fiskestrømmen med fysiske skillevegger så raskt etter inntak som mulig og sørge for at det er enklere å singulere og mate fisk inn i 444-maskiner i neste steg.

“overflødig” fisk dersom det på noe tidspunkt fraktes mer enn én fisk ut om gangen. Dette konseptet tar flere former med tanke på transportør- og tilbakeføringsløsning, men med samme metode for singulering.

Cascade

Gjennom å benytte ulike hastigheter og vibrasjoner på transportbånd vil en strekke fisken gradvis mer og mer fra hverandre, også ved å benytte fysiske skiller. På den måten blir fisken tilrettelagt for mating ved å bli manipulert av en aktuert konstruksjon.



Dette konseptet involverer sammensatte transportbånd i ulik høyde, gradvis lavere og lavere og bredere og bredere, som en kaskade. En slik utforming fører til at fiskemassen utsettes for små kraftpåføringer underveis i transporten. Transportbåndene blir også påført “støy” i form av vibrasjoner.

Disse to funksjonene er til for at fisken skal bli utsatt for samme krefter på ulike tidspunkter for å kunne skli av hverandre; dersom en overlappende fisk blir utsatt for en kraft som overstiger friksjonskraften den har mot fisken, samtidig som den underlappende fisken har en høyere friksjonskraft mot transportbåndet, tenkes det at førstnevnte vil skli av og dermed separeres fra den andre fisken. Denne løsningen forutsetter et begrenset antall fisk per avstand på transportbåndene. Dette kan muligens løses ved å benytte en eksisterende teknikk innen singulering, nemlig økende hastighet fra bånd til bånd. Det er verdt å nevne at dette kan medføre utfordringer for håndtering av fisken ved etterfølgende system, siden det da er en risiko for at fisken vil gå for fort for automatisert håndtering.

Det ble sett på som en nødvendighet at vi klarer å flytte fisk med roboter for å oppnå en plasseffektiv løsning, da andre mekaniske innretninger fort ville ta mye plass. Roboter er også velkjent teknologi og det eksisterer nå roboter som tåler miljøet i en fiskefabrikk, selv om det ikke er uttestet industrielt.

5. Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

Resultatene fra testing av robotapplikasjonen har tydelig vist at det å løfte en gjennomsnittlig stor fisk med sugekopp medfører gjensidige utelukkende forutsetninger. Helt grunnleggende, for å løfte et objekt med en sugekopp kreves det et bestemt produkt av vakuumnivå og løfteareal, hvilket isolert sett er overkommelig.

friksjonskoeffisienten som er avgjørende for å kunne bevare grepet og håndtere fisken ved bruk av robot og sugekopp.

Det har blitt utført forsøk for å beregne fiskens friksjon, men grunnet tid og ressurser ble disse forsøkene begrenset i form av kvantitet og nøyaktighet. Det vises til prosjekt 901991, hvor kartlegging av friksjonskoeffisient for fisk, deriblant torsk, utføres med tilstrekkelig mengde og presisjon.

På grunn av utfordringene nevnt over, ble det forsøkt å dra fisken ved bruk av vakuumpopp på en robot, nettopp fordi en da fjerner litt av tyngden på fisken. Ved slik forflytning bevarer en noe av mottrykket fra underlaget, hvilket forsterker kreftene som virker bevarende med tanke på sugekoppens posisjon på fisken.

Resultatene viser stort potensial for å kunne forflytte og rotere fisken for singulering og taktning med høyere akselerasjon, enn det som var mulig ved løft. Et slikt bevegelsesmønster kan også fungere for mating av maskineri, ved hjelp av andre mekaniske grensesnitt enn det som benyttes i dag.

En ulempe ved å forflytte fisken langs underlaget er at det stiller krav til fiskens relative posisjon; fisken som skal plukkes må ligge fri fra omkringliggende fisk, både for å unngå kraftpåkjenninger og for å unngå at annen fisk havner utenfor arbeidsområdet som følge av en kollisjon. Dette er et grunnleggende argument for oppdelingen av konseptet singulering – fiskemengden må til enhver tid være grovsingulert for å kunne håndteres av et etterfølgende finsinguleringssystem, noe en robotapplikasjon vil fungere som.

Det er verdt å nevne at en sugekoppvariant med en mer omsluttende utforming muligens vil kunne unngå flere av utfordringene nevnt over, men dette har ikke blitt testet av samme årsak som ved friksjonstesting. Denne muligheten støtter også opp under oppdelingen nevnt over; en slik variant vil ikke kunne fungere dersom fiskene ligger i kontakt med hverandre.

Utover dette ble testing av sugekopp omgjort underveis fra en testprotokoll med bevegelsessekvens, som ligger til grunn for kapasitetsresultatene nevnt i rapporten, til en mer grunnleggende utprøving hvor det ble forsøkt å finne konkrete grenseverdier for fysiske egenskaper. Av den grunn er de nevnte resultatene sannsynligvis misvisende da de siste og mest lovende variantene av sugekopper ikke ble utsatt for samme testprotokoll og det er stor sannsynlighet for at disse vil prestere bedre enn det som er dokumentert i dette prosjektet.

Det har blitt foreløpig konkludert med at grovsingulerte fiskemengder er et premiss en sannsynligvis må inngå for at singulering i fiskefabrikk om bord i en båt er gjennomførbart. Derfor har fokuset underveis i prosjektgjennomføringen blitt endret fra robotapplikasjon til grovsinguleringsapplikasjon.

Videre vurderes det at en finsinguleringsløsning som kompletterer et todelt singuleringssystem er såpass lik tradisjonelle robotapplikasjoner at det kunne neglisjeres i dette prosjektet; det er hovedsakelig gripeverktøy og kamerateknologi som må betraktes som nyskapning for en slik applikasjon, men det blir sett på som løsbart. Grunnarbeidet for utvikling av sugekopp er utført i så stor grad som anses å være fornuftig i dette prosjektet, og basert på dette arbeidet konkluderes det med at sugekopp kan brukes som gripeverktøy for finsingulering og tilrettelegging for mating av maskineri under de forutsetningene som har blitt nevnt over, dersom bevegelsene foregår uten løft.

0.25	0.1	0.1	0.1	15	1.5	54(76)	16	0.21
	0.2	0.2	0.3	15				
	0.2	0.2	0.3	15				

Første kolonne beskriver hastighetene transportørene går med. Som nevnt over har det vært et underliggende ønske å unngå gradvis økning av hastighet i singuleringsløsningen, grunnet håndteringsutfordringene som medfølger for etterfølgende system. Derfor er hastigheten lik for alle transportørene i dette konseptet.

Av samme årsak er det ikke ønskelig at hastigheten er høy. Det viser seg også at det mer eller mindre kan utregnes en "nødvendig" hastighet, som vil muliggjøre at fiskemengden kan fordeles uten overlapp. Dette viser seg tydelig mellom forsøk 1 og 2, hvor eneste forskjell er antall fisk som input. I forsøk 1 er hastigheten for lav til at fiskene får nok rom til å ligge ved siden av hverandre.

Forsøk 3 tyder på at ristingens frekvens har vesentlig betydning for resultatet. Ved å justere fra 60 Hz til 15 Hz for siste transportør, får fiskene anledning til å bevege seg lenger i én retning før påkjeningen inverteres, og dermed større mulighet til å gli av hverandre. Fra forsøk 3 til forsøk 4 er det liten endring i resultat, som kan indikere at fiskemengden grovsinguleres tilstrekkelig allerede før den når den siste transportøren.

Forsøk 5, som inkluderer risting også i driftsretning, viser et svakere resultat. Hvorvidt forverringen skyldes parameter eller varians er usikkert, men det tyder på at ristingen langs båndets driftsretning ikke har noen tydelig positiv funksjon.

Divider

For dette konseptet er det kun hastighet for transportbånd som kan justeres. Også her er hastigheten satt overordnet for å unngå problemet nevnt over. Forskjellige hastigheter har vist seg relativt ubetydelig for singuleringsgraden, såfremt forsyningen av fisk befinner seg innenfor fornuftige rammer.

Av den grunn viser vi her frem resultat med kun én hastighetsinnstilling; 0.25 m/s. Hastigheten, samt horisontal og vertikal avstand mellom transportbånd og fordelingskonstruksjon, har dog noe å si for fordelingsgraden av fisk til hver side; å finne kritiske parametere for denne funksjonen ble tilsidesatt i dette prosjektet, men vil være nødvendig å utføre senere.

Input fisk/min	Output fisk fisk/min	Varighet i sekunder (60 + tid fra start til første fisk levert)	Antall overlapp	Overlapp % (lavere er bedre)
90	84	79	3	0.036
90	85	76	0	0
90	82	77	0	0
90	75	76	5	0.067
90	84	76	6	0.071
150	131	77	10	0.076

robustheten til systemet mtp. artsmangfold og størrelsesmangfold. En kan også utnytte arbeidet med simulering i prosjekt 901991 til å verifisere konseptene i dette prosjektet, men det fordrer at simuleringsmodellen er god nok.

Resultater:

- Løfting og føring av fisk med sugekopp har en del utfordringer med tanke på størrelse og individuell utforming av fisk, som lett fører til vakuumløkkasje. Kapasitet er også en utfordring da hver sekvens tar alt for lang tid per robot-unit med tilgjengelig verktøy. For å komme oss videre med denne løsningen så må det utvikles et bedre fiskehåndteringsverktøy for roboter.
- Optimar har simulert tre forskjellige singuleringskonsepter:
Divider-løsningen har stor singuleringseffektivitet, middels kapasitet, lav teknisk kompleksitet og lavt plassbehov.
Rondell-løsningen har stor singuleringseffektivitet, middels kapasitet, stor teknisk kompleksitet og stort plassbehov.
Cascade-løsningen har middels singuleringseffektivitet, høy kapasitet, middels teknisk kompleksitet og middels plassbehov.

Disse tre løsningene må bygges og testes ut for endelig resultat.

Gjenstående arbeid

- Simulerte konsepter må bygges og testes
- Utvikling av egnet gripeverktøy for håndtering av fisk, både rund og filet.

6. Hovedfunn

- Dersom en deler opp singulering i grovsingulering og finsingulering/mating er det større sannsynlighet for å løse singuleringsproblematikken.
- Det vil sannsynligvis kreve endring i kjøremønsteret til dagens fabrikktrålere for å muliggjøre singulering
- Det kreves mer fysisk testing av ulike konsepter for å komme frem til en endelig løsning

7. Leveranser

- Referat fra møter i referansegruppen – 4 stk. inkludert avsluttende møte med presentasjon av sluttrapport
- Presentasjon FHF's hvitfisksamling 2024
- Administrativ sluttrapport
- Faglig sluttrapport
- Presentasjon for bruk på fagsamlinger
- Faktaark
- Populærvitenskapelig artikkel