



Bedre Arbejds miljø - Projekt nr.: 2010433

### Projektets formål og resultat

*Projektets formål* Projektet vil muliggøre udvikling og optimering af robotstyring og kunstig intelligens uden forudgående kendskab til programmering. Samtidig skal det understøtte arbejdet med at forbedre arbejdsmiljøet ved at levere analyseværktøjer, som kan bevidstgøre operatøren om uhensigtsmæssige bevægemønstre.

*Opnået effekt af projektet* Projektet har udviklet nye analyseværktøjer, der bygger på kendte teknologier inden for tracking af bevægemønstre og muskeltræthed hos operatøren. Analyseværktøjerne kan dels understøtte træning i sunderne arbejdsrutiner, og samtidig kan de bruges til at automatisere arbejdsprocesser, hvilket på sigt muliggør udvikling og optimering af robotstyring og kunstig intelligens uden forudgående kendskab til programmering. Den forventede effekt er en styrket rekruttering til kødindustrien gennem mere attraktive arbejdspladser og en højere værdiskabelse ved at kunne inddrage en bredere medarbejdergruppe i optimering og anvendelse af ny teknologi.

*Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund* Den enkelte operatør på slagteriet vil få et forbedret arbejdsliv gennem et mindre fysisk belastende arbejde. Processer præget af ensidigt-gentaget-arbejde (EGA) og problemer med muskel-skelet-besvær (MSB) vil kunne analyseres med henblik på at forbedre arbejdsmiljøet gennem træning og nye arbejdsrutiner. I de tilfælde hvor processen kan automatiseres, vil EGA- og MSB-arbejdspladser erstattes af overvågningsarbejde og kvalitetskontrol. Ved at have fokus på arbejdsmiljø og at gøre ny teknologi tilgængelig for en bredere medarbejdergruppe vil slagterierne blive mere attraktive som arbejdsplads og opleve en nemmere rekruttering af kvalificeret arbejdskraft. Samtidigt opnås en effektivisering af produktionsplanlægningen, da arbejdsmiljøbetingede bindinger fjernes. En mere fleksibel produktion vil øge kødindustriens konkurrenceevne og fremme værdiskabelsen gennem en optimeret udnyttelse af ressourcerne. På længere sigt vil samfundet få reducerede udgifter til sundhedssektoren og sygefravær blandt lønmodtagerne i industrien.

*Oplæg til videre arbejde* Projektets resultater, herunder særligt de udviklede analyseværktøjer, kan ses som et supplement til den eksisterende indsats inden for arbejdsmiljø i slagteribranchen, og graden af brugeranvendelse vil afhænge af, hvordan disse værktøjer passer ind i eksisterende arbejdsrutiner hos medarbejderne. Det er derfor oplagt at

starte en nærmere dialog med målgruppen med henblik på yderligere demonstration af og information om projektets resultater.

## Beskrivelse af aktiviteter

### *Beskrivelse af funktionsprincip*

Projektet har fulgt DMRI's innovationsmodel og har gennemgået analysefase, idégenerering, metodefase og funktionsmodel. Aktiviteterne har haft fokus på at identificere, videreudvikle og implementere teknologier til afkodning af menneskelig bevægelse med henblik på at kunne anvende disse i datadrevne støtteværktøjer, der dels bidrager til et forbedret arbejdsmiljø og dels gør ny teknologi tilgængelig for en bredere medarbejdergruppe på slagterierne.

Projektet er indledt med en analysefase, hvor kødindustriens generelle udfordringer med MSB og EGA er undersøgt. Dette har afgrænset projektets mulige fremtidige samarbejdspartnere til vurdering af arbejdsmiljøudfordringer samt de tekniske løsningsmuligheder, der skal undersøges i projektet. Derudover er samarbejdsmuligheder med Arbejdsmedicinsk Klinik samt Nationalt Forskningscenter for Arbejdsmiljø belyst ift. at få den bedste viden om hvordan man vurderer, hvilke bevægelsesmønstre, der potentielt medfører skader.

Projektet har efterfølgende gennemløbet idéfase, metodefase og funktionsmodel. Der er udviklet metoder til at tracke og afkode operatørens bevægelsesmønstre og arbejdsbelastning, og det er undersøgt, hvordan denne information kan anvendes til programmering af en robot eller i et analyseværktøj til arbejdsmiljø. Omdrejningspunktet er *Digitalisering af arbejdsbevægelser*, og der har været arbejdet med afledte udviklingsspor under dette tema. Fælles for aktiviteterne i projekterne er intens brug af data fra sensorer, som har betydet et omfattende arbejde med at finde, afprøve og kombinere de sensorsystemer, der kan levere den nødvendige information. Projektet har også afsøgt muligheder for samarbejde med eksterne partnere og har i den forbindelse etableret en god dialog med den interne arbejdsmiljøorganisation i Danish Crown, Environment Health & Safety (EHS), som har fungeret som sparringspartner i projektet.

Projektet har haft tre parallelle spor, hvor der er arbejdet med:

- *Måling af muskeltræthed.*
- *Måling af ergonomi.*
- *Præcisionsmåling til robotprogrammering.*

Herunder er aktiviteterne i hvert af de tre spor beskrevet nærmere.

### *Måling af muskeltræthed:*

Der er indhentet et trådløst elektromyografisk sensorsystem (EMG) til bioelektriske målinger af muskelaktivitet. Ud fra muskelaktiviteten er det muligt at udlede information om niveauet af muskelbelastning og muskeludtrætning under arbejdet, og det kan anvendes til analyse af MSB og EGA. Der er udviklet software til at analysere signalet fra sensorerne i henhold til den standardiserede metode Joint Analysis of EMG Spectrum and Amplitude (JASA), som inddeler mønstre i muskelaktiviteten i

kategorierne recovery, force increase, force decrease, fatigue. Det er særligt sidste kategori, fatigue, dvs. muskeltræthed, der er interessant i denne sammenhæng. EMG-systemet er afprøvet, og funktionaliteten er valideret i forsøg med flere forskellige personer i forskellige opsætninger.

#### *Måling af ergonomi:*

Der er udviklet en software baseret på kunstig intelligens til analyse af operatørens bevægelsesmønstre. Metoden tager udgangspunkt i body pose tracking, hvor nøglepunkter på operatørens krop trackes (f.eks. hofte, skulder, albue og håndled). Ud fra disse data kan en RULA-score udregnes, hvor RULA (Rapid Upper Limb Assessment) er en standardiseret metode til vurdering af arbejdspositioner ift. ergonomi. Software til RULA-beregning er implementeret på henholdsvis tablet (dataopsamling) og cloud-server (RULA-beregning), og der er udviklet et interface til visualisering. Softwaren er afprøvet og valideret i forsøg med flere forskellige personer i forskellige opsætninger.

#### *Præcisionsmåling til robotprogrammering:*

Præcisionsmålinger af værktøjsbaner, f.eks. bevægelsen af en kniv ført af en operatør på en opskæringslinje, kan danne baggrund for at automatisere processen. Dette gøres ved, at værktøjsbanen indlejres i kunstig intelligens og efterfølgende udføres autonomt af en robot. Projektet har arbejdet med at finde en robust metode til at lave præcisionsmålinger af værktøjsbaner til dette formål. Der er udviklet et sensorfusion system, der kombinerer flere målinger til at give et præcist og robust estimat af position og orientering af operatørens værktøj. Målingerne kommer fra et visionsystem, der tracker værktøjets position og fra en Inertial Measurement Unit (IMU), der tracker værktøjets acceleration, hvorfra positionen kan udregnes. Den præcise måling af værktøjets bane danner grundlag for at kunne automatisere processen. Der er foretaget dataopsamling til sensorfusion-metoden, og det er verificeret, at udstyret kan fungere efter hensigten i barske miljøer på slagterierne, hvor der ofte også kan være interferens fra andet udstyr, såsom frekvensomformere. Der er også lavet en screening af algoritmer til indlejring af information fra dataopsamlingen, og egnede arkitekturer for kunstige neurale netværk er identificeret, herunder Graph Neural Networks (GNN).

Projektet har arbejdet med forskellige use-cases til at illustrere funktionaliteten af de tekniske løsninger. Bl.a. bruges casen fra SAF-projektet "Automatisk pudsning af mørbrad", som også har været afviklet i 2022-2023, til at udvikle de tekniske løsninger. Samarbejdet med EHS har i denne forbindelse givet indsigt i, hvilke indsatsområder, der allerede arbejdes med, hvordan arbejdsmiljøet evalueres, og hvordan projektets resultater kan bruges fremadrettet som udbygning af den eksisterende indsats for at forbedre arbejdsmiljøet.

#### *Beskrivelse af mekaniske delsystemer*

De mekaniske delsystemer består primært af tilpasninger og komponenter til montage af sensorer. Der er også udviklet et aggregat, der sidder i forlængelse af håndtaget på en kniv, der gør det muligt at placere synlige markører til et af tracking-systemerne. Derudover deler projektet forsøgsopstilling med SAF-projektet "Automatisk pudsning af mørbrad".

### Beskrivelse af elektriske delsystemer

Der bruges flere forskellige kameraer, sensorer og mini-PC'er til databehandling i de målesystemer, der indgår i forsøgsopstillingen.

Nedenfor er de elektriske delsystemer beskrevet:

- **DELSYS Trigno EMG-sensorsystem:** EMG-sensorsystem til at måle muskelaktivitet og detektere muskeltræthed. Systemet består af seks sensorer, der påsættes direkte på huden oven på musklen. De seks sensorer fordeles på relevante muskler, og signalerne sendes trådløst til en opsamlingsenhed. Hver sensor indeholder også en IMU til positionsbestemmelse. Systemet kan have op til 12 sensorer tilknyttet samtidigt.
- **Polhemus VIPER-tracker:** Tracking-system der genererer et magnetfelt, i hvilket tracking-enhedens position og orientering kan beregnes. Systemet opererer ved en frekvens op til 960 Hz og bruger Fly True Technology til at korrigere for forstyrrelser i magnetfeltet fra eksterne kilder.
- **Microsoft Azure Kinect:** 3D-kamera der dels indeholder et farvekamera og derudover benytter sig af Time-of-Flight (ToF) vha. amplitude-moduleret infrarødt lys til at bestemme et dybdekort. Kameraet opererer med en frekvens mellem 5-30 Hz.
- **Zivid Two:** 3D-kamera til præcisionsmålinger, der fungerer vha. stereo-vision med structured light. Kameraet opererer ved en frekvens mellem 1-12 Hz.
- **Luxonis:** Både 3D-kameraer og 2D farve-kameraer. 3D-kameraet benytter sig af stereo-vision til at beregne et dybdekort. Kameraerne opererer ved en frekvens mellem 30-60 Hz.
- **Zed II:** Et 3D-kamera, der benytter sig af stereo-vision til at producere et dybdekort.
- **Allied Vision:** Flere forskellige kamerahuse og linser, der kan kombineres. Kamerahusene operer ved frekvenser mellem 30-60 Hz.
- **NVIDIA Jetson boards:** Flere forskellige enheder, der bruges til processering af data fra kameraer og sensorer.
- **Tablet:** Til dataopsamling i forbindelse med måling af ergonomi. Bruges som mobil enhed, der kan medbringes i produktionen til at analysere arbejdsmiljøet.

Til processen med pudning af mørbrad bruges en robot af mærket Fanuc, som har en payload på 25 kg. Den maksimale hastighed ved robotflangen er 4 m/s afhængig af, hvilke led på robotten, der bruges under bevægelsen.

### Beskrivelse af software

Softwarens kerneelementer er analysemoduler til at behandle data fra de forskellige sensorer. Analysemodulerne bygger på metoder til digital signalbehandling, computervision-teknikker samt dedikerede løsninger til databehandling under dataopsamling og til beregning af f.eks. RULA-score og JASA-kategori.

## Testresultater

*Resultat af afsluttende test* Der har været foretaget en række indledende forsøg, primært bestået af validering af datakvalitet fra sensorsystemer og tilhørende præprocessering af dataene. Derudover er sensorsystemerne testet på et slagteri for at undersøge, om udstyret kan holde til barske forhold med kulde, høj luftfugtighed og elektromagnetiske forstyrrelser, uden at det går ud over præcisionen af målingerne. De fleste af de undersøgte systemer kan modstå forholdene på slagteriet, dog med undtagelse af Polhemus VIPER Tracker, hvor magnetfeltet fra systemet bliver påvirket af de massive stålkonstruktioner, der typisk befinder sig i produktionen. Derfor er dette system ikke velegnet til videre test i projektet.

Efterfølgende har hvert spor, *Måling af muskeltræthed*, *Måling af ergonometri* og *Præcisionsmåling til robotprogrammering*, gennemgået iterative forløb, hvor funktionaliteten af løsningerne er afprøvet og forbedret. Funktionaliteten er valideret til funktionsmodel-niveau gennem test med flere personer i flere forskellige situationer og miljøer.

Der er i testforløbene ligeledes arbejdet med at definere og afprøve arbejdsgange med udstyret, som kan implementeres på slagterierne efterfølgende. Der er i den forbindelse arbejdet med at definere grænseflader mellem teknologierne, så f.eks. brugeren interagerer med en tablet, mens tunge beregninger sker på en cloud-server.

*Afvielser fra oprindelig kravspecifikation* Projektet afviger ikke fra den oprindelige beskrivelse i SAF-ansøgningen.

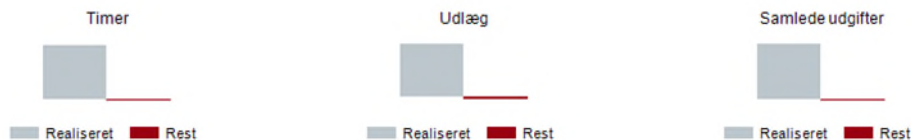
## Projekthistorik

*Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje* Projektet følger DMRI's innovationsmodel og har i Q1-Q3 2022 gennemløbet de første to faser; analysefase og idéfase. Metodefaseren er gennemført i Q4 2022 – Q3 2023, mens funktionsmodelfaseren er afviklet i Q4 2023.

## Økonomi

*Projektregnskab med noter* Projektets økonomi i 2023 var 2.200 t.kr., fordelt på 2.020 t.kr. til timer og 170 t.kr. til udlæg. Projektøkonomien er forløbet i henhold til projektplanen. Nedenfor ses økonomien fordelt på timer og udlæg.

	Realiseret	Budget	Rest budget	FG
Antal timer	2.142,90	2.142,87	-,03	100,0 %
Beløb, Timer	2.030.025,40	2.029.996,12	-29,28	100,0 %
Udlæg	172.642,15	170.000,00	-2.642,15	101,6 %
Samlede udgifter	2.202.667,55	2.199.996,12	-2.671,43	100,1 %
Faktureret		2.200.000,00	2.200.000,00	
Indtægtsberegning	2.200.000,00	2.200.000,00	,00	



Figur 1: Projektøkonomi for SAF 26 Bedre arbejdsmiljø 2010433 i 2023.

## Konklusion

I projektets første år er kødindustriens generelle udfordringer med MSB (muskelskeletbesvær) og EGA (ensidig gentaget arbejde) undersøgt, og det er lykkedes at definere praktisk anvendelige metoder til måling af arbejdsmiljø. Flere udviklingsspor er startet vedrørende udviklingen af egentlige analyseværktøjer til at tracke og afkode operatørens bevægemønstre og arbejdsbelastning og undersøge, hvordan denne information kan anvendes til programmering af en robot eller i et analyseværktøj til arbejdsmiljø. Projektet har brugt en case fra SAF-projektet "Automatisk pudsning af mørbrad" og dertilhørende forsøgsopstilling til at udvikle og validere de tekniske løsninger.

Der har ligeledes været en god og konstruktiv dialog med slagteriernes interne arbejdsmiljøorganisationer, samt dialog med potentielle partnere uden for slagteribranchen, som har sikret, at projektets tekniske løsninger bedst muligt kan implementeres og er tilgængelige for målgruppen.