



Opskæringscelle - Projekt nr.: 2009667

Mekanisk infrastruktur til opskæringscelle – Projekt nr.: 2009666

Denne slutrapport dækker de to projekter, "Opskæringscelle" og "Mekanisk infrastruktur til opskæringscelle", som har stærke bindinger mellem sig og derfor har været udført sammen i et tæt forløb. Projekterne har delt rapportering af resultater under projektafviklingen, og derfor rapporteres de også samlet i denne slutrapport.

### Projektets formål og resultat

<i>Projektets formål</i>	Projektet skal fremme kødindustriens konkurrenceevne gennem fleksibel teknologi, som samtidig skaber bæredygtige jobs og produktioner, styrker rekrutteringen og sikrer optimeret udnyttelse af ressourcerne samt en maksimering af værdiskabelsen gennem kundetilpassede produkter.
<i>Opnået effekt af projektet</i>	Projektet har udviklet nye teknologier, der skal være med til indføre et nyt produktionsparadigme i slagteriindustrien og løfte effektiviteten ved at øge automatiseringsgraden kraftigt. Dette giver en mere bæredygtig produktion gennem optimeret udnyttelse af ressourcerne og et bedre arbejdsmiljø. Herudover bidrages til forbedret konkurrenceevne og værdiskabelse gennem mere fleksibel teknologi, som åbner mulighed for en høj grad af kundetilpassede produkter.
<i>Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund</i>	<p>Den enkelte operatør på slagteriet vil få et forbedret arbejdsliv gennem et mindre fysisk belastende arbejde. Processer i opskæringen præget af ensidigt-gentaget-arbejde (EGA) og problemer med muskel-skelet-besvær (MSB) vil blive erstattet af overvågningsarbejde og kvalitetskontrol.</p> <p>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.</p> <p>På længere sigt vil samfundet få reducerede udgifter til sundhedssektoren og sygefravær blandt lønmodtagerne i industrien.</p>
<i>Oplæg til videre arbejde</i>	Projektet sigter på en omfattende omlægning af produktionen i opskæringen, og der lægges derfor op til, at resultaterne modnes i samarbejde med branchen og

udvalgte integratorer med henblik på at udvikle en prototype, der kan implementeres på de danske slagterier.

## Beskrivelse af løsningen

### *Beskrivelse af funktionsprincip*

Der er arbejdet med automatisering af processer i opskæringen, herunder fortåklip, udtagning af mørbrad, afskæring af øre og afskæring af halve hoveder, som er kombineret i en multifunktionsrobotcelle. Cellen har to robotter, som parallelt udfører fortåklip og mørbradudtagning, mens øreafskæring udføres efterfølgende. Hovedafskæring er udviklet i et separat forløb som metodemodel med fokus på at optimere cyklustiden. En endelig implementering af cellen vil have flere robotter, så flere af processerne kan udføres parallelt. Sideløbende med multifunktionsrobotcellen er der arbejdet med automatisk vask af robotter i en dedikeret vaskecelle. Nedenfor er multifunktionsrobotcellen samt hver enkelte proces i denne beskrevet, mens vaskecellen er beskrevet sidst i dette afsnit.

### **Multifunktionsrobotcellen**

Multifunktionsrobotcellen er designet til at bearbejde én grisehalvdel ad gangen og at kunne håndtere både højre og venstre halvdel. Infrastrukturen omkring cellen er lavet til at modtage og aflevere begge halvdele på standard hængejern, som i forvejen bruges til at transportere grisene rundt på slagteriet. Når grisen ankommer til multifunktionsrobotcellen, lægges den ned på et transportbånd uden for cellen. Her løftes den højre grisehalvdel fri af transportbåndet, mens den venstre halvdel transporteres ind i cellen til bearbejdning. I cellen står to robotter på hver sin side af transportbåndet og udfører fortåklip og mørbradudtagning i parallel. Herefter udskiftes værktøjet til fortåklip med værktøjet til øreafskæring på den ene robot, som dernæst afskærer øret. Højre grisehalvdel sænkes ned på transportbåndet, og mens venstre halvdel transporteres ud af cellen, transporteres højre halvdel ind i cellen til processering. Alle værktøjer er agnostiske i forhold til venstre og højre grisehalvdel, så fortåklip, mørbradudtagning og øreafskæring udføres på samme måde som på venstre halvdel. Derefter løftes venstre grisehalvdel fri af transportbåndet, og højre halvdel transporteres ud af cellen til venstre halvdel, hvorefter hængejernet påsættes og grisen returneres til produktionen. Håndtering af biprodukter sker inde i cellen. Værktøjerne er udstyret med gribere, der kan fastholde biprodukterne, mens de bringes til dedikerede afleveringsstationer, hvorfra de kan transporteres ud af cellen.

### **Fortåklip**

De mekaniske delsystemer til afklipping af fortå involverer et klippeværktøj, en griber samt en løfteanordning til at løfte tåen fri af transportbåndet. Når grisehalvdel er kommet ind i cellen, løftes fortåen fri af transportbåndet med et mekanisk tåløft. Herefter bestemmes angrebepunkter på fortåen med et visionsystem. Visionsystemet bruger et 3D kamera til at finde referencepunkter på fortåen, ud fra hvilke den endelige position og orientering af saksen bestemmes og sendes til robotten.

Klippeværktøjet har en griber, der er monteret bag på værktøjet, som griber om tåen samtidig med, at klippet udføres og fastholder tåen, indtil den skal afleveres i en kasse. Hele værktøjet er konstrueret med flange og monteret på robotten. Videoen nedenfor viser processen, hvor fortåen klippes.

[Se video fra slagteri med tåklip med griber](#)

### **Udtagning af mørbrad**

Når grisehalvdelen kommer ind i cellen, bestemmes tre referencepunkter på overfladen af henholdsvis nøglebenet og hver ende af sidste lændehvirvel (L7) med et 3D kamera. Ud fra referencepunkterne dannes en dynamisk værktøjsbane, der tilpasser sig den biologiske variation mellem grisene. Et separat visionsystem vurderer kvaliteten af midtflækningen ved at estimere dybden på rygmarvskanalen. Denne information bruges til at justere dybden på den samlede værktøjsbane med op til 5 mm i hver retning. Når værktøjsbane og dybdekorrektio n er bestemt, udføres bevægelsen af robotten. Værktøjet på robotten består af en whizard-kniv, der drives af en ekstern motor. Rotations hastigheden af whizard-kniven er sammenlignelig med den, der bruges af operatørerne på slagteriet. Når første del af robotbanen er gennemløbet, har whizard-kniven skåret mørbraden fri langs nøglebenet. Herefter stoppes kniven, og en bøjle skydes frem foran kling en, som afskærmer kling en fra kødet. I samme øjeblik aktiveres en griber på værktøjet, som fastholder mørbraden, mens den trækkes fri langs rygsøjlen. Robotten kan dernæst aflevere mørbraden i en kasse ved siden af transportbåndet. I projektet blev mørbraden dog efterladt i grisen med henblik på at udtage den senere uden for cellen og dermed potentielt at spare cyklostid. Videoen nedenfor viser processen, hvor mørbraden udtages.

[Se video fra slagteri med udtagning af mørbrad og fortåklip](#)

### **Afskæring af øre**

Øret bliver savet af en rundsav, der er monteret på flangen af en industrirobot. Rundt om kling en er monteret et fang, som guider øret hen til kling en under afskæringen. Inden afskæringen af øret foretages, løftes trynen med et mekanisk tryneløft, så øret er i en position, der muliggør afskæring. Til bestemmelse af angrebspunkter på øret bruges et visionsystem. Visionsystemet bruger to 3D kameraer til at finde referencepunkter på øret. Det ene kamera ser øret forfra, mens det andet kamera ser øret fra siden. Ud fra referencepunkterne bestemmes rundsavens skærekurve, som sendes til robotten. Der er ikke udviklet en griber til fastholdelse og aflevering af øret, men det vurderes at kunne gøres på samme måde som med fortåen. Videoen nedenfor viser den sekvens, hvor trynen på grisen bliver løftet og øret afskæres.

[Se video fra slagteri med afskæring af øre](#)

## Afskæring af det halve hoved

Afskæring af halve hoveder udføres med samme robot, som foretager fortåklip og afskæring af øre. Værktøjet består af en oscillerende kniv og en klinge, der tilsammen kan bruges som en saks. Når grisehalvdelen er transporteret ind i cellen, køres en hovedholder i vandret position og fastlåser trynen. Et visionsystem detekterer referencepunkter på hovedet, som bruges til at bestemme en skærekurve, som robotten eksekverer. Den oscillerende kniv skærer indtil genikket, hvorefter genikket klippes ved at dreje klingens fra vandret position ned til den oscillerende kniv i en saksebevægelse. Skærekurven med den oscillerende kniv fortsætter rundt om kæben samtidigt med, at hovedholderen drejer rundt for at skabe plads til kniven. Kniven fortsætter ned mod trynen tæt ved hovedholderen. Når hovedholderen åbner låsen, falder hovedet ned i en kasse. Videoen nedenfor viser afskæring af det halve hoved.

[Se video fra slagteri med afskæring af grisehoved](#)

### *Beskrivelse af mekaniske delsystemer*

Opskæringscellen består af flere mekaniske delsystemer til at udføre de forskellige operationer: Et klippeværktøj til klipning af tæer med griber, et skærende øreværktøj med griber, en whizard-kniv med bøjle og griber, en bajonetsav med ekstra klinge til klippebevægelse, et kombineret tå- og tryneløft, samt en hovedholder. Værktøjet til fortåklip har to elektriske aktuatorer til udførelsen af saksebevægelsen. Klingerne er konstrueret med skær på begge sider, så klippeværktøjet fungerer som en højrehåndet og venstrehåndet saks. Det betyder også, at den er i stand til at klippe under hver mekanisk bevægelse, der udføres. Derudover har værktøjet en tågriber, der er drevet af en luftcylinder, som aktiveres samtidigt med klippebevægelsen.

Værktøjet til udtagning af mørbrad består af en whizard-kniv, der drives af en ekstern motor. Rotationshastigheden af whizard-kniven er sammenlignelig med den, der bruges af operatørerne på slagteriet. Værktøjet har en 2 mm tyk stålbøjle, der sidder tæt om klingens på ydersiden med en afstand på ca. 0.5 mm. Den kan skydes frem vha. en luftcylinder og afskærme klingens, og dermed undgå kontakt mellem klinge og kød. Værktøjet har også en griber monteret bagved klingens, som aktiveres med en luftcylinder og fastholder mørbraden i værktøjet.

Værktøjet til afskæring af øre består af en rundklinge med Ø300 mm, der drives af en elektrisk motor. Rundklingen er monteret med et fang, der guider øret ind i klingens under afskæring. Der er fang på begge sider af klingens, så værktøjet kan skære både højre og venstre øre. Fanget har en 2 mm bred slids, som klingens kører i, hvilket sikrer, at øret blive guidet ind i klingens under afskæringens.

Værktøjet til afskæring af halve hoveder består af to delværktøjer. Det første er en skærende kniv, som trækkes af en elektrisk motor i en oscillerende bevægelse styret af fire lejer, og det andet er en klinge, som sammen med den skærende kniv udgør en saks. Klingens drives af en luftcylinder, der åbner og lukker saksen med en vinkel på op til ca. 100 grader.

Til afskæring af hoved bruges et hovedhold, der består af en griber med en fast bundplade i højde med trynen og en bevægelig plade, der kan lukke sammen om trynen. Griberen er monteret på et hængsel, der tillader griberen at dreje ca. 60 grader omkring aksen gennem bundpladen langs trynen.

Tåløftet, som aktiveres i forbindelse med fortåklip, er drevet af to lineære luftcylindre og en rotationscylinder, der svinger et stykke fladstål under fortåen ved skulderen og løfter, så tåen kommer fri fra transportbåndet.

Tryneløftet bruges i forbindelse med afskæring af øret og sidder på samme anordning som tåløftet. Tryneløftet består af en formbuktet rundstang af stål med en påmonteret 3D-printet plasticindsats, der kan bevæges lodret vha. en luftcylinder. Tryneløftet løfter og støtter trynen og kæbesnittet under afskæringen af øret, så kameraerne har frit udsyn til øret, og savklingen ikke beskadiger kæbesnittet under skærebevægelsen.

### Beskrivelse af vaskecelle

Projektet har også udviklet en vaskecelle, hvor to robotter rengør hinanden efter gældende hygiejnekrav på slagteriet. Vaskecellen bruger standard rengøringsudstyr udlånt af ISS med vandslange med et tryk på 25 bar og dysesæt med skumdyse, spuledyse og desinfektionsdyse.

Der er udført fire forsøg hen over foråret 2022, hvor transportbåndet og den ene robot tilsmudsas med fæces fra gris og forsøges rengjort. I starten af forsøget har tilsmudsningen fået lov til at sidde i en times tid, hvorefter rengøringen er udført.

Rengøringen består af:

- Grovspuling (skal fjerne 95% af smuds)
- Skumudlægning (skal ligge i 15 min.)
- Afskylning
- Desinfektion (skal ligge i 15 min.)
- Afskylning (må ikke efterlade klorrester)

Rengøringen sker ved, at den tilsmudsede robot vaskes af den anden robot, hvor vaskeudstyr er monteret på flangen. Vaskesekvensen består af en række punkter på en robotbane, hvis positioner er optimeret over flere iterationer for at opnå et acceptabelt resultat.

Inden rengøringen påbegyndes, udtages 10 mikrobiologiske prøver som reference. Efter endt rengøring udtages endnu 10 mikrobiologiske prøver i nærheden af de første 10. Prøverne opbevares i køleboks og afleveres hurtigst muligt til hygiejneafdelingen i Taastrup til analyse. Prøverne kultiveres i fem dage og rapportering følger.

### Beskrivelse af elektriske delsystemer

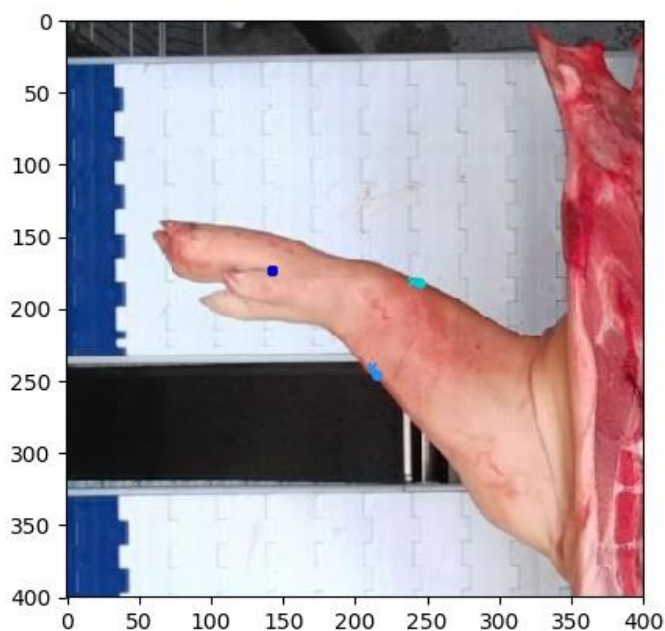
Der bruges et 3D kamera af typen Microsoft Azure Kinect, der ved en frekvens på 30, 15 eller 5 Hz producerer et RGB-billede og et tilhørende dybdekort vha. IR-stråling. Opløsningen i RGB-billedet er 1080x1920 pixels, mens dybdekortet har en præcision på ca. 2 mm afhængig af refleksionsevnen af IR-strålingen på emnet.

Integration af kamera og robot sker på en stationær PC, som er udstyret med et stort grafikkort samt en kraftig processor, som driver både kameraer og en række deep learning algoritmer samt robotstyrings- og visualiserings-software. Der er to robotter i forsøgsopstillingen af mærket Fanuc, som har payloads på henholdsvis 70 kg og 165 kg. Den maksimale hastighed ved robotflangen er 4 m/s afhængig af, hvilke led på robotten, der bruges under bevægelsen.

### Beskrivelse af software

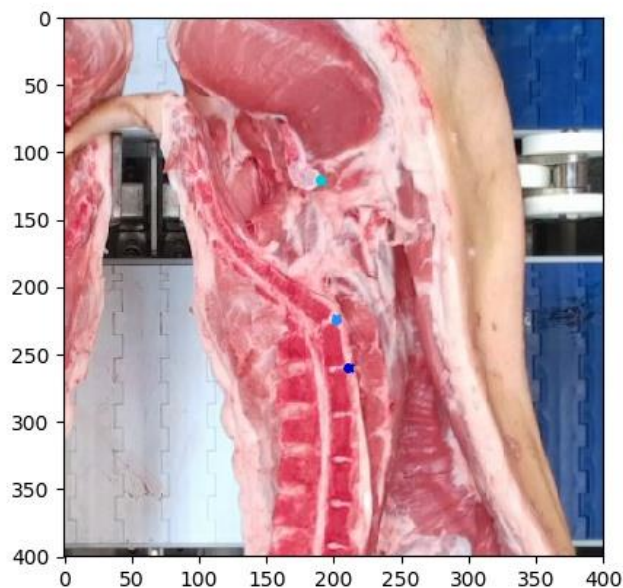
For hver halve gris, der transporteres ind i robotcellen, eksekveres tre visionsystemer i parallel, der er baseret på neurale netværk (deep learning). Visionsystemerne har hver især en processeringstid på mindre end 20 millisekunder og modtager et live-feed fra kameraerne. Ved eksekvering af en robotbane bruges seneste detektion fra visionsystemet til en beregning af robotbanen. Kommunikation mellem kamera og robot, samt eksekvering af algoritmer, sker på den stationære PC via robotstyringssoftwaren ROS (Robot Operating System).

Visionsystemet til fortåklip tager udgangspunkt i RGB-billeder fra et 3D-kamera placeret ca. 1.2 m over transportbåndet og bestemmer tre punkter i billedet. To af punkterne angiver leddet på fortåen, hvor klippet skal foretages, mens det tredje er længere ude på tåen og bruges til at beregne vinklen på skæreplanet. Efter at punkterne er identificerede, bruges kameraets interne kalibrationsparametre samt dybdekortet til at få 3D koordinaterne ( $x, y, z$ ) for hvert af punkterne. Efterfølgende transformeres koordinaterne til robotens koordinatsystem og bruges som referenc punkter til at definere klippeværktøjets position under fortåklippet. Billedet nedenfor viser punkterne som findes af algoritmen i RGB-billedet.



Figur 1: Detektion af referencepunkter i RGB-billedet til fortåklip.

Til udtagning af mørbrad bestemmes tre referencepunkter i RGB-billedet fra et 3D-kamera, der sidder ca. 1.2 m over transportbåndet. Punkterne angiver steder på overfladen af henholdsvis nøglebenet og hver ende på sidste lændehvirvel (L7). Punkterne omdannes til 3D-koordinater i robotens koordinatsystem vha. kameraets interne kalibrationsparametre, dybdekortet samt transformationsmatricen fra kamera til robot. Ud fra disse 3D-koordinater dannes tre lokale koordinatsystemer, hvori statiske banesegmenter til værktøjsbanen defineres. De statiske banesegmenter kombineres til den endelige dynamiske værktøjsbane, der tilpasser sig den biologiske variation mellem grisene. Da banesegmenterne relaterer sig til snitfladen produceret af midtflækkeren, bruges et separat visionsystem til at vurdere, hvor skævt midtflækningen er udført. Dette gøres ved at estimere dybden på rygmarvskanalen ved sidste lændehvirvel. Denne information bruges til at kategorisere midtflækningen i fem kategorier, der angiver afvigelsen fra rygsøjls midte. Resultatet bruges til at justere dybden på den samlede værktøjsbane med op til 5 mm i hver retning. Billedet nedenfor viser punkterne, som findes af algoritmen i RGB-billedet.

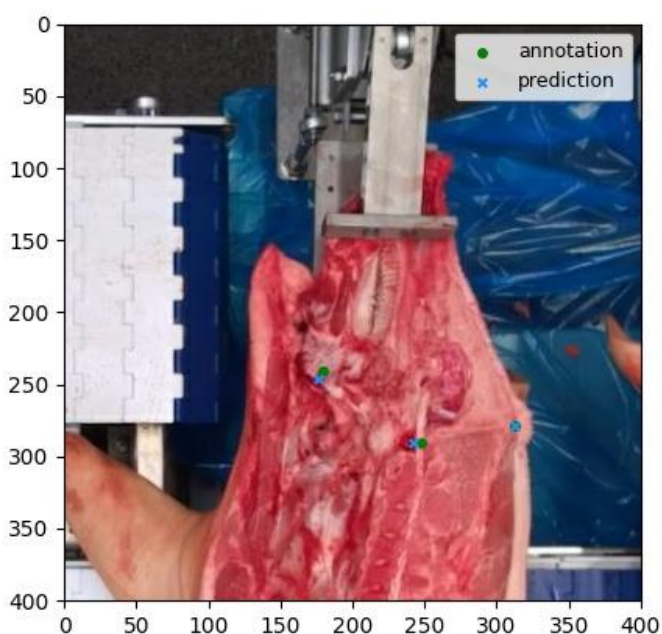


Figur 2: Detektion af referencepunkter i RGB-billedet til mørbradudtagning.

Til afskæring af øre bruges to 3D kameraer til at bestemme henholdsvis tre punkter i et RGB-billede af forsiden af øret og et punkt i et RGB-billede fra siden af øret. Kameraerne er monteret i hver sin side i ca. 50 cm højde over gulvet på den side af båndet, hvor øret er og symmetrisk omkring midteraksen i cellen. De tre punkter transformeres til robotens koordinatsystem og bruges til at definere banekurven under afskæring af øret. Videoen nedenfor viser punkterne, som findes af algoritmen i RGB-billedet. Videoen er fra et tidligere stadie af forsøgsopstillingen, hvor begge grisehalvdele er i cellen på samme tid.

[Se video fra slagteri med griseører set fra forskellige vinkler](#)

Værktøjsruten til afskæring af halve hoveder defineres ved at finde tre punkter på hhv. kraniekanten, genikket og kæben på et RGB-billede af hovedet taget med et kamera, der sidder ca. 1.2 m over transportbåndet. Efter at punkterne er identificerede, bruges kameraets interne kalibrationsparametre samt dybdekortet til at få 3D koordinaterne (x,y,z). Efterfølgende transformeres koordinaterne til robotens koordinatsystem og bruges som referencepunkter til at definere skærekurven. Når skærelinjerne er beregnet, kommunikeres disse til robotten, som eksekverer en fast sekvens givet ved skærekurven. Billedet nedenfor viser punkterne som findes af algoritmen i RGB-billed



Figur 3: Detektion af referencepunkter i RGB-billedet til afskæring af halve hoveder.

Videoerne nedenfor viser henholdsvis detektion af angrebepunkter for fortåklip og efterbearbejdningen af disse punkter til at danne et skæreplan til klippeværktøjet. Visionsystemerne til de tre andre processer benytter sig af tilsvarende teknikker.

[Se video fra slagteri med detektion af angrebepunkter på fortå](#)

[Se video fra slagteri med 3D-visualisering af angrebepunkter til fortåklip](#)

## Testresultater

*Resultat af afsluttende test*

### Multifunktionsrobotcelle

Projektet har haft fokus på at integrere delprocesser i multifunktionsrobotcellen og optimere cyklustiderne på de individuelle processer. I de afsluttende test er det



bekræftet, at robotterne kan være i indgreb på samme tid uden at der gås på kompromis med kvalitet eller cyklustid.

For hver delproces er cyklustiderne målt, og resultatet er vist i Tabel 1 nedenfor. "Målt cyklustid" angiver tiden fra robotten starter sin bevægelse, og til den er tilbage i hjemmeposition, inklusive aflevering af biprodukter. "Potentiel cyklustid" angiver tiden, fra robotten starter sin bevægelse, og til værktøjet ikke længere er i indgreb. Den potentielle cyklustid angiver dermed den cyklustid, der kan opnås, hvis grisen transporteres ud af cellen lige så snart, værktøjet ikke længere rører grisen.

	Fortåklip	Mørbrad-Udtagning	Afskæring af øre	Afskæring af halvt hoved
Målt cyklustid [sek]	4	5	3	3,5
Potentiel cyklustid [sek]	2,5	4	3	3,5

Tabel 1: Cyklustider.

### Vaskecelle

Resultatet fra test i vaskecelle viser, at det er muligt at rengøre robotfrakke efter gældende hygiejnekrav på slagteriet. En hel vaskecyklus gennemføres på omkring 50 min, inklusive liggetid for kemiprodukterne. Vandforbruget er mellem 0,5 og 0,9 kubikmeter. Resultaterne er sensitive overfor antallet af punkter på robotbanen og deres placering, samt niveauet af tilsudsning inden rengøring. Det vurderes, at både vandforbrug og effektivitet af rengøringen kan optimeres yderligere gennem flere test og stadig opfylde hygiejnekravene.

### Afvielser fra oprindelig kravspecifikation

Projektet har fokuseret på integration af to delprocesser, fortåklip og mørbradudtagning, men har grundet praktiske omstændigheder ikke integreret flere processer, som det ellers var planlagt fra starten af projektet. Projektet har videreudviklet processen omkring afskæring af halve hoveder med fokus på at optimere cyklustiden gennem et nyt design af værktøjet, hvilket ikke var planlagt inden projektstart.

### Projekthistorik

#### Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje

Projektet bygger videre på tidligere projekter omkring multifunktionsrobotcellen i opskæringen og har for henholdsvis fortåklip, mørbradudtagning, øreafskæring og afskæring af halve hoveder befundet sig i innovationsmodellens funktionsmodel fase hele året. Afskæring af halve hoveder bygger også på et tidligere projekt, men har gennemgået de tidligere faser i innovationsmodellen, henholdsvis idégenerering i Q2 og metodefase i Q3. Vaskecellen har gennemgået analysefase og idégenerering i Q1, og metodefase i Q2, og funktionsmodel fase i Q2 og Q3.

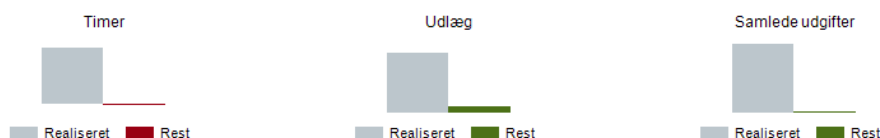
## Økonomi

Projektregnskab med noter

Aktiviteterne i projektet har været delt over to SAF-projekter, der fra starten har været forbundne, hvorfor rapporteringen også er fælles. De to SAF-projekter er SAF 74 AP3 Opskæringscelle 2009667 og SAF 74 AP2 Mekanisk infrastruktur i opskæringscelle 2009666.

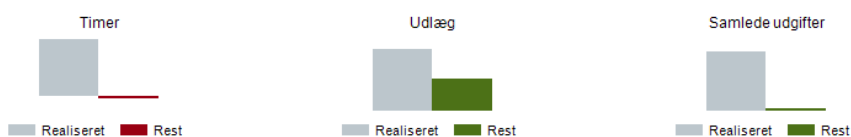
Projektøkonomien er forløbet i henhold til projektplanen. Nedenfor ses økonomien for begge SAF-projekter fordelt på timer og udlæg. Det realiserede antal timer er lidt større end budgettet, mens det modsatte gør sig gældende for udlæg. Dette skyldes, at dele af udstyr i forsøgsopstillingen blev fremstillet og monteret internt i stedet for af eksterne leverandører.

	Realiseret	Budget	Rest budget	FG
Antal timer	3.000,00	2.963,91	-36,09	101,2 %
Beløb, Timer	2.836.623,50	2.802.001,94	-34.621,56	101,2 %
Udlæg	402.540,28	448.000,00	45.459,72	89,9 %
Samlede udgifter	3.239.163,78	3.250.001,94	10.838,16	99,7 %
Faktureret		3.250.000,00	3.250.000,00	
Indtægtsberegning	3.239.161,85	3.250.000,00	10.838,15	



Figur 4: Projektøkonomi for SAF 74 AP2 Mekanisk infrastruktur i opskæringscellen 2009666.

	Realiseret	Budget	Rest budget	FG
Antal timer	1.990,50	1.983,58	-6,92	100,3 %
Beløb, Timer	1.876.761,00	1.870.000,80	-6.760,20	100,4 %
Udlæg	171.159,42	260.000,00	88.840,58	65,8 %
Samlede udgifter	2.047.920,42	2.130.000,80	82.080,38	96,1 %
Faktureret		2.130.000,00	2.130.000,00	
Indtægtsberegning	2.047.919,65	2.130.000,00	82.080,35	



Figur 5: Projektøkonomi for SAF 74 AP3 Opskæringscelle 2009667.

## Konklusion

I projektet er det lykkedes at demonstrere processerne fortåklip, mørbrad-udtagning, afskæring af øre og afskæring af halve hoveder i multifunktionsrobotcellen i én integreret forsøgsopstilling. Det er vist, at flere processer kan udføres parallelt uden at gå på kompromis med kvalitet eller cyklustid. Cyklustider for hver proces er optimeret, og det konkluderes, at cyklustiden for cellen som helhed er 4-5 sekunder.

Projektet har også demonstreret, at det er muligt at rengøre robotterne i cellen automatisk efter gældende hygiejnekrav på slagterierne med en vasketid på ca. 50 min. Det vurderes, at vasketiden kan nedbringes yderligere gennem finjustering af robotbanen.

I et større perspektiv baner resultaterne i projektet vejen for at indføre et nyt produktionsparadigme på slagterierne, hvor processer kan udføres parallelt i multifunktionsrobotceller som erstatning for den eksisterende linjeproduktion. Dermed bliver det muligt at løfte effektiviteten gennem højere opetid og automatiseringsniveau og samtidig give en mere bæredygtig produktion gennem optimeret udnyttelse af ressourcerne og et bedre arbejdsmiljø. Herudover bidrages til forbedret konkurrenceevne og værdiskabelse gennem mere fleksibel teknologi, som åbner mulighed for en høj grad af kundetilpassede produkter.

Et videre forløb frem mod udvikling af en prototype og implementering vil kræve en omfattende omlægning af produktionen i opskæringen og kræver derfor, at resultaterne modnes i samarbejde med branchen og udvalgte integratorer.

# Appendix

## A1: Projektets roadmap



## A2: CAD-tegning af værktøj til afskæring af halve hoveder

- 1) Kniv
- 2) Saksebevægelse
- 3) Lineær Aktuator fra Norgren
- 4) Leje fra Hepcomotion
- 5) Bajonetsav maskine fra Makita
- 6) Robotflange
- 7) Værktøjsbase

