



# Slutrapport

## SAF 3 WP1 Høj kapacitetsudnyttelse i pakkeri

Projektperiode januar 2018 til og med december 2019

18. dec. 2019  
Proj.nr 2007058.  
Version:1.0  
Init. PAHD

### *Baggrund*

Produktionsanlægget i pakkeriet søges udnyttet maksimalt af slagterierne, og pakkeriet bliver ofte flaskehals i produktionsafviklingen. Flaskehalse opstår især i forbindelse med uforudsete hændelser med ujævn produktionsafvikling. De uforudsete hændelser kan opstå både i pakkeriet og i tidligere produktionsafsnit. I dag foregår pakkeriplanlægningen erfaringsbaseret og den er afhængig af erfarne (pakke-)mestre og planlæggere, der kan tage højde for fx sidste øjeblikks ændringer i ordrer og maskinnedbrud. Det er dog, selv for erfarne folk, svært at overskue planlægningsproblemstillingen og lægge den plan, der udnytter pakkeriet bedst muligt med hensyntagen til denne dags ordre og problemer. Det er projektets hypotese, at man ved hjælp af planlægningsværktøjer vil kunne opnå en økonomisk gevinst i form af mere optimerede planer med færre omkostninger.

### *Overordnet projektmål*

Det overordnede projektformål er at udvikle en løsning i form af et softwareværktøj, der optimerer kapacitetsudnyttelsen på slagteriernes pakkerier. Der tages udgangspunkt i digital tvillingteknologi, til at skabe et datamæssigt overblik over aktuelle og historiske produktionsforhold, som kombineres med simulering- og optimeringsværktøjer til at danne optimale produktionsplaner.

### *Målgruppen*

Målgruppen er planlæggere, pakkemestre og andre mestre, samt eventuelt sælgere på svineslagterierne, som er involverede i ordrelægning og planlægningen af produktionen.

### *Værdiskabelsen*

I princippet skal en optimeret pakkeplan generelt understøtte en minimering af de økonomiske omkostninger/maksimering af de økonomiske gevinster, som er afhængige af de beslutninger, som pakkeplanen har indflydelse på. Planlægning foregår på forskellige tidshorisonter og niveauer, med forskellige relevante beslutninger. Fokus i dette projekt er planlægningen for næste dag og genplanlægning for nuværende dag på det enkelte pakkeri. Dvs. planlægning på kort tidshorizont på det specifikke slagteri. I det følgende listes de beslutninger, som korttidspakkeplanen har, eller kunne have, indflydelse på:

**Fastlæggelse af pakkeplanen.** Dvs. beslutning om hvilke ordrer der skal produceres på hvilke pakkemaskiner og hvornår. Mere detaljeret: Beslutning om råvarer, der ankommer fra opskæring og udbening, skal destineres til bufferlager eller til en af flere pakkelinjer til at fylde en ordre. Til en given tid, beslutning om hvilke råvarer der skal kaldes ud af bufferen og destineres til en pakkelinje for at fylde ordrer. Dette er det centrale punkt i projektet. Værdien skabes på to måder:

1) Automatisk planlægning sparer ressourcer brugt til manuel planlægning. Det vurderes realistisk at spare et årsværk til planlægning pr. pakkeri.

2) En optimeret planlægning giver en økonomisk mere optimal plan (eller i det mindste en konsistent plan i forhold til vedtagne planlægningsstrategier, der kan monitoreres, vurderes og forbedres). Det vurderes realistisk at spare et operatørårsværk pr. pakkeri. Dertil vil der være en række andre økonomiske forbedringer fx i form af værdien af større kundetilfredshed hos vigtige kunder samt reduceret ventetid for vognmænd. Værdien af disse forbedringer er ikke vurderet.

**Fastlæggelse af skæreplanen,** dvs. hvilke slagtekroppe (og tilhørende produkter) der skal opskæres og udbenes. Typisk er pakkeplanen dog i praksis slave af skæreplanen. M.a.o. er skæreplanen typisk input til pakkeplanen, selvom der i princippet ville være en gevinst ved at inkludere skæreplanen i en optimering. I det følgende arbejde betragtes skæreplanen som et givet input til pakkeplanen og den potentielle værdi af at optimere skæreplanen er ikke vurderet.

**Beslutning om accept eller afvisning af og/eller prissætning af nye kundeordrer.** Kan det lade sig gøre at levere en ny ordre, og vil det være økonomisk fordelagtigt at levere set ud fra et helhedsperspektiv? Et optimeringsværktøj til pakkeplanlægning, der kan håndtere ordrer som input, ville samtidigt kunne være et nyttigt værktøj til salgsfunktionen på den korte tidshorizont, hvis optimeringen vel og mærke er hurtig nok i forhold til salgssituationen. Med udgangspunkt i den aktuelle produktionsstatus køres optimeringen med og uden den nye ordre og den økonomiske gevinst sammenlignes. Salgssituationen vurderes til at kræve svar-tider på under et minut, hvilket planlægningsværktøjet vil få svært ved at opfylde, givet optimeringsproblemets kompleksitet. Værdien af at bestemme den økonomiske gevinst/omkostning ved en ny ordre er ikke vurderet.

*Overvejelser i analyse- og idé-fasen*

I analyse- og idefasen besøgte flere pakkerier for at forstå problemstillingerne i større detalje. Det blev hurtigt erkendt, at der er meget stor forskel på pakkerierne og deres udfordringer. Der er derfor ligeledes stor forskel på, hvilke situationer man på det enkelte pakkeri tilstræber at opnå/undgå, og dermed forskel på de underliggende strategier for den manuelle planlægning, der foregår i dag.

Der var indledningsvis to tilgange til et værktøj, der kunne forbedre kapacitetsudnyttelsen i pakkerierne:

- 1) Et *optimeringsmodul*, der som output giver en pakkeplan.
- 2) Et *simuleringsværktøj*, der bruges til at støtte beslutningsprocessen ved hurtigt at "gennemspille" mulige scenarier, når der er behov for at (gen-)planlægge.

Under dialogen med personalet på pakkerierne blev det klart, at løsning 2) et *simuleringsværktøj* ikke ville være hensigtsmæssigt; i hvert fald ikke til genplanlægning under tidspres. Et *simuleringsværktøj* ville dog være nyttigt til at forstå sammenhænge og konsekvensen af beslutninger i forbindelse med analyser af pakkeriet. Dertil vil et *simuleringsværk* være nyttigt til at validere en pakkeplan og vil kunne skabe tiltro til et *optimeringsmodul* og de planer, det genererer. Det blev derfor besluttet at arbejde videre med 1) Et *optimeringsmodul* og bruge simulering som et hjælpeværktøj i projektet.

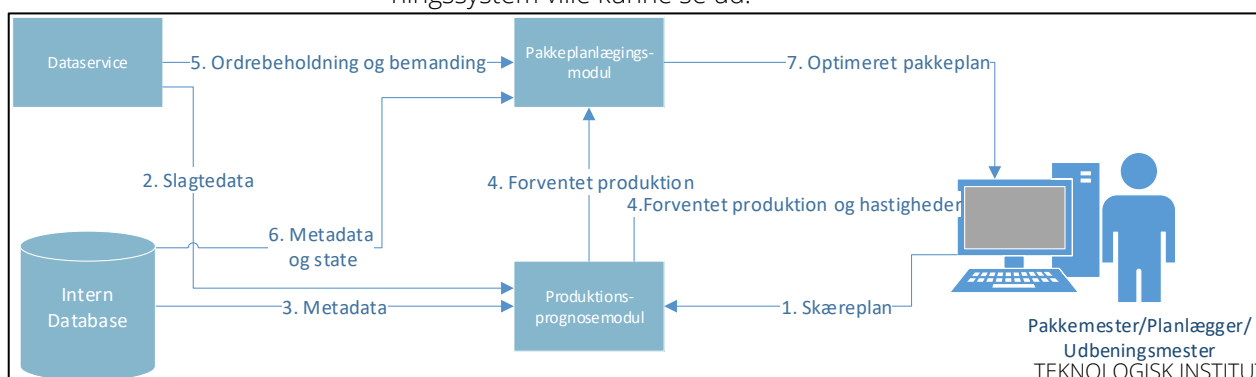
Under besøgene på pakkerierne efterspurgtes der, udover selve planlægningsværktøjet, en række relaterede værktøjer, som vurderedes ville være nyttige i sig selv i den aktuelle manuelle planlægning:

- Kommunikation af en skæreplan (et produktionsprognosemodul, dvs. hvilke hoved- og sideprodukter der forventes at ankomme hvornår).
- Automatisk registrering af, og alarm/information ved, (bånd-)stop, nedbrud, manglende råvaretilgang og -ophobning, samt pakkemaskinebelastning.

Disse værktøjer ville alle, i større eller mindre omfang, være nødvendige og indgå i en automatisk planlægningsløsning. Dels som input til optimeringen (skæreplan), dels som datadrevet baggrundsinformation (pakkemaskinekapacitet), dels som alarmer for hvornår genplanlægning er nødvendig (råvaretilgang afviger fra skæreplan, stop og nedbrud på maskiner etc.). Der er behov for en standardiseret måde at formulere/registrere en skæreplan. Datakilden til de automatiske registreringer kunne i vid udstrækning være bakke-/kasse-RFID-læsere, som via flowet af bakker/kasser ville kunne informere om stop, nedbrud, manglende råvaretilgang, ophobning og belastning.

Udover ovennævnte datakilder vil der være brug for integration med ERP bl.a. i forhold til ordrer, tilgængelige bemanding, ordrestatus og lagerstatus.

Forneden er skitseret, hvordan arkitekturen for et automatisk planlægningssystem ville kunne se ud.



I analyse- og idefasen var der mange overvejelser omkring, hvordan planlægningsmodulene skulle udvikles. Den oprindelige tanke var at bruge "traditionelle" matematiske optimeringsværktøjer. Produktionsdagen opdeles i passende tidsintervaller (fx 10 min.) og der laves en optimering af hele produktionsdagen på én gang i forhold til, hvad der skal produceres på de forskellige maskiner hvornår i løbet af dagen. Det vurderedes, at det relevante optimeringsproblem **ikke** ville kunne formuleres som et lineært programmeringsproblem (som i beregningsbehov "kun" ville skalere med produktet af maskiner, ordrer, råvarer og tidsintervaller). Det vurderedes, at der formentlig ville være behov for heltalsvariable, dvs. binære (0/1) variable og for ikke-lineære ligninger, hvilket ville resultere i prohibitivt lange beregningstider.

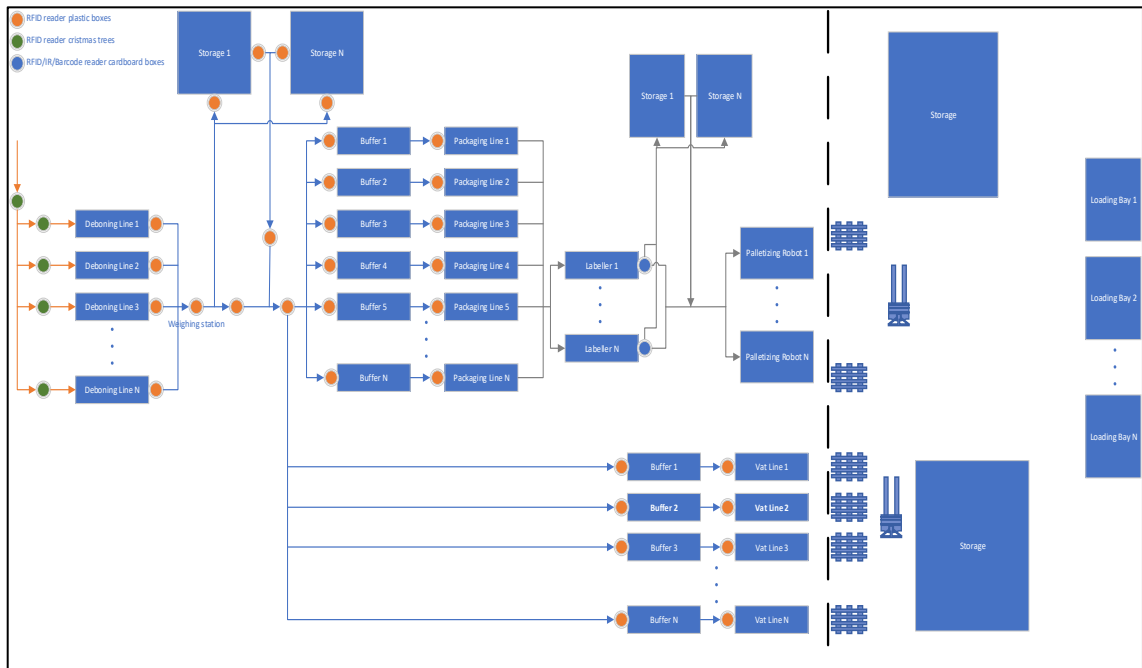
Markedet for planlægningsløsninger blev afsøgt for at finde leverandører med teknologi og knowhow til komplekse produktioner. Følgende virksomheder blev identificeret: Stottler Henke; Dassault; CSB. Dertil identificeredes Marel; Frontmatec. Disse sidste to virksomheder har formentlig ikke egentlige optimeringsmoduler til planlægningen, men opererer sandsynligvis med en vis automatisering af beslutningsprocessen ud fra foruddefinerede beslutningsstrategier. Der blev taget skridt til besøg hos leverandørerne og deres brugere, gerne i form af slagterier, men dette blev ikke effektueret, da virksomhederne i projektets følgegruppe ikke ville i denne retning på daværende tidspunkt.

Som en alternativ planlægningsteknologi blev reinforcement learning bragt i spil, da der for nyligt er blevet publiceret artikler om denne tilgang. Det er en tilgang baseret på at træne et dybt kunstigt neuralt netværk til at tage de rigtige beslutninger i den aktuelle situation, jf. værdiskabelsesafsnittet foroven. Tilgangen kræver en meget stor indsats i forhold til at træne netværket, men når netværket er trænet, vurderes det, at det kan tage beslutninger inden for en acceptabelt kort tid. Denne tilgang blev dog ikke fulgt yderligere i projektet.

Det blev i projektet besluttet at undersøge, hvor god en løsning der kunne opnås med "traditionelle" optimeringsværktøjer.

#### *Metodeudvikling*

For at undgå at forstyrre pakkerierne unødigt blev det besluttet at bruge et generisk modelpakkeri med "syntetiske" inputdata til metodeudviklingen. Det generiske modelpakkeri skulle afspejle kompleksiteten i et rigtigt pakkeri i rimelig grad. Det valgte modelpakkeri bestod af 12 pakke-maskiner (1 kanten, 4 bulk, 1 lille film, 1 stor film og 5 karudsoreringer). Pakkeriet skal håndtere 26 forskellige råvarer, der kan pakkes til 73 forskellige produkter. En principskitse er vist fornedent.



Optimeringsmodeller blev udviklet i optimeringsprogrammet GAMS. Optimeringsmodeller består af en omkostningsfunktion (fx lønomkostning, maskinbrug, skifteomkostning etc.), som skal minimeres ved at finde den optimale værdi for de beslutningsvariable, der indgår (fx hvilken maskine, der producerer hvilken ordre i et givent tidsinterval). Udover omkostningsfunktionen defineres en række begrænsninger (fx må der ikke produceres mere, end der er tilgængelig råvare og maskinkapaciteter må ikke overskrides).

For at opnå en økonomisk optimal plan skal alle omkostninger (og eventuelt gevinster) kunne kvantificeres økonomisk og skal kunne formuleres matematisk i en optimeringsalgoritme, som er hurtig nok til at være praktisk anvendelig, dvs. med svar-tider på maksimalt ca. 10 min. Alternativt, hvilket ofte er teknisk lettere, skal "uhensigtsmæssig adfærd" undertrykkes i planen ved at give det en "straf".

Rene lineær programmeringsmodeller måtte som forventet opgives og der måtte inkluderes både kontinuerte og heltalsvariable i modellen (mixed integer programming MIP). Det lykkedes at lave en økonomisk funderet optimeringsmodel uden ikke-lineære funktioner af beslutningsvariable. Modellen har en omkostningsfunktion som inkluderer omkostningerne for tidsoverskridelse af ordre; omkostning ved brug af (og/eller mængde produceret på) maskinen i et tidsinterval; bemanning (lønomkostning for nødvendige medarbejdere på dagen); skifteomkostning (hver opstart af ny ordre på en maskine). Modellen vil også kunne inkludere værdien af de producerede varer og omkostningerne ved at have råvarerne på lager (over natten). Begrænsningerne inkluderer maskinprocesthastighed og bufferlagerkapacitet. Da optimeringsmodellen ikke er ikke-lineær i beslutningsvariable er tidsforbruget til at generere en løsning inden for det acceptable: Med en ordreliste på 52 ordrer kunne en løsning beregnes på ca. 6 min. på en (kraftig) bærbar-PC. Det

er forventningen, at signifikante tidsbesparelser kan opnås gennem optimeringer af modelformuleringen, implementering af modellen i en mere effektiv software teknologi (fx i Googles OR-Tools, som bedre kan udnytte processorkraften i multikernehardwarearkitekturer) samt ved at bruge mere kraftige computere.

#### *Løsning*

Da det er besluttet at stoppe projektet pga. dårlig timing i forhold til af-tagervirksomhedernes planer på området, bliver der ikke i regi af dette projekt udviklet en færdig automatisk løsning til slagterierne med optimeringsmodul og dataintegration. Der arbejdes dog videre med problemstillingen i resultatkontrakten Digital Fødevarerproduktion under temaet Digital Twins.

#### *Konklusion/diskussion*

Det teknologisk kritiske i forhold til en løsning til optimeret planlægning til pakkerierne er optimeringsmodulet. Det er i projektet sandsynliggjort, at der kan udvikles et optimeringsmodul, der lever op til kravene for økonomisk optimering af planlægningen, herunder et tilstrækkelig kort tidsforbrug til optimeringen.

Dataintegrationsdelen vurderes at have lille teknisk risiko, men kan være omkostningstung. Prisen for at etablere en løsning vurderes til 1 – 2 millioner kr. Den årlige besparelse vurderes til mindst 1 million kr., så der kan forventes en tilbagebetalingstid på under 2 år.

#### *Kontaktinformation*

Holger Dirac, centerchef, 7220 2978, pahd@teknologisk.dk