

# **Nye veje til omstillingsparat og rekonfigurerbar produktion**

Grundprincipper, fremgangsmåde & eksempler

Ann-Louise Andersen, Rasmus Andersen, Alessia Napoleone  
Thomas Ditlev Brunø, Stefan Kjeldgaard, Kjeld Nielsen  
Daniel Grud Hellerup Sørensen, Mohsin Raza, Arne Bilberg  
Carin Rösiö, Simon Boldt, Filip Skärin

# Nye veje til omstillingsparat og rekonfigurerbar produktion

– Grundprincipper, fremgangsmåde & eksempler

1. udgave  
© Forfatterne, 2022

Grafisk tilrettelægning: Kasper Dyrvig Randorff

Fotografier og Virksomhedslogoer © Grundfos A/S, Kamstrup A/S,  
Vestas Wind Systems A/S, Elvstrøm Sails A/S, Dan-Foam ApS, Hydrema A/S,  
Ljusgårda AB, Volvo Group Trucks Operations, Robotics & Automation Group,  
Aalborg University

ISBN (Print): 978-87-974066-0-1  
ISBN (Elektronisk): 978-87-974066-1-8

Udgivet af:

**REKON Press**

Fibigerstræde 16  
9220 Aalborg Øst  
Att.: Ann-Louise Andersen

Alle rettigheder forbeholdes.

# Forord

Denne bog er udgivet som en del af projektet "REKON – Udvikling af Rekonfigurerbar Produktion". Projektet er finansieret af Industriens Fond og er udført af Aalborg Universitet i samarbejde med Syddansk Universitet, Jönköping University og Teknologisk Institut.

REKON-projektet har til formål at udvikle en metode og tilhørende værktøjer til at gøre danske produktionsvirksomheder rekonfigurerbare og sikre bedre muligheder for hurtigere omstilling af deres produktion gennem modulære løsninger. Projektet bygger videre på forskningsresultater som er skabt på området de sidste 10 år, bl.a. i forskellige Manufacturing Academy Denmark (MADE) forskningsprojekter omkring modulær- og platformsbaseret produktion.

I REKON-projektet har en lang række danske og svenske produktionsvirksomheder deltaget og bidraget til både at udvikle og teste REKON-metoden, samt til at eksemplificere værktøjerne. Det drejer sig om: Kamstrup A/S, Grundfos A/S, Elvstrøm Sails A/S, Vestas Wind Systems A/S, Dan-Foam ApS, Volvo Group Trucks Operations og Ljugårda AB. I den forbindelse vil forfatterne af denne bog rette en særlig tak til:

- **Christoffer Daniel Karlsen, Kamstrup A/S**
- **René Laursen, Kamstrup A/S**
- **Flemming Møller Hansen, Kamstrup A/S**
- **Pavle Kojić, Grundfos A/S**
- **Mette Bregendahl, Grundfos A/S**
- **Bjørn Christensen, Grundfos A/S**
- **Finn Mortensen, Elvstrøm Sails A/S**
- **Mads Bejlegaard, Vestas Wind Systems A/S**
- **Rune Kjær Holtzmann, Dan-Foam ApS**
- **Kristian Jensen, Dan-Foam ApS**
- **Tobias Högsfeldt, Volvo Group Trucks Operations**
- **Erika Wahlqvist, Ljugårda AB**

# Indholdsfortegnelse

Den rekonfigurerbare fabrik.....	6
Omstillingsparathed, rekonfigurerbarhed og fleksibilitet .....	9
Rekonfigurerbarhed, modularitet og produktionsplatforme .....	15
REKON-metoden: Fire trin til udvikling af rekonfigurerbar og omstillingsparat produktion.....	19
Evaluering af rekonfigurerbarhed.....	25
Trin 1: Afklaring af behov for rekonfigurerbarhed .....	32
Trin 2: Udvikling af rekonfigurerbare koncepter .....	40
Trin 3: Detaljeret design af det rekonfigurerbare system.....	47
Trin 4: Implementering og udnyttelse af rekonfigurerbarhed .....	52
Fra REKON-metoden til virkelighed .....	58
Appendiks 1-15 .....	62
Anbefalet læsning.....	78

## Indledning

# Rekonfigurerbarhed som nøgle til omstillingsparathed og konkurrencedygtighed

Mange danske produktionsvirksomheder oplever øget varians og kompleksitet i produktionen. Dertil kommer stigende krav om kortere time-to-market og gradvist mindre seriestørrelser. REKON-projektet har til formål at gøre danske produktionsvirksomheder i stand til at imødekomme disse udfordringer.

Rekonfigurerbar produktion er en ny type af produktionssystemer designet til hurtig og effektiv kapacitetstilpasning, omstilling og introduktion af nye produkter. Dette opnås ved en systematisk udvikling af produktionssystemer baseret på modulært produktionsudstyr og en tæt sammenhæng mellem produkt- og produktionsplatforme. Når danske virksomheder i dag udvikler produktionssystemer, designes de ofte som dedikerede løsninger, hvor en række af produkter og varianter kan produceres i en volumen som matcher den forventede efterspørgsel i markedet. I takt med øget usikkerhed på markeder, kunders varierende efterspørgsel og kortere produktlivscykluser, vil disse dedikerede systemer hurtigere blive utilstrækkelige. Konsekvensen er enten dyre og tidskrævende ombygninger eller design og indkøb af helt nye produktionssystemer. Derfor er produktionsvirksomheder i dag nødt til at designe og udvikle produktionssystemer som hurtigt og nemt kan rekonfigureres i takt med at markedet og produkter ændrer sig. Med andre ord er rekonfigurerbare produktionssystemer nøglen til konkurrencedygtighed og en ny vej til at opnå effektivitet, robusthed og omstillingsparathed i produktionen.

Netop nye veje til omstillingsparat og rekonfigurerbar produktion er omdrejningspunktet for denne bog. Bogen henvender sig til dig som ønsker indsigt i grundprincipperne omkring omstillingsparathed, herunder rekonfigurerbarhed, modularitet, og produktionsplatforme, samt viden om hvordan disse principper kan anvendes og udvikles i praksis i form af konkrete industrieksempler, systematisk fremgangsmåde og tilhørende værktøjer. Bogen bygger på flere års forskning i tæt samarbejde med danske produktionsvirksomheder og internationale forskere. Gennemgående for bogen er en række eksempler fra danske og svenske produktionsvirksomheder: Kamstrup A/S, Grundfos A/S, Vestas Wind Systems A/S, Elvstrøm Sails A/S, Dan-Foam ApS, Volvo Group Trucks Operations, Ljusgårda AB og Hydrema A/S, som hver især viser håndgribelige beviser på anvendeligheden af de i bogen præsenterede principper og værktøjer.

**Vi ønsker dig god og inspirerende læsning!**

## Kapitel 1

# Den rekonfigurerbare fabrik

Danske produktionsvirksomheder bliver i stigende grad mødt med krav om at kunne producere større produktvarians til markedet. Det betyder grundlæggende at produktionen skal levere stadig flere forskellige produkter til kunderne for at være konkurrencedygtig. Samtidig er der større krav om at have en kort time-to-market på grund af den internationale konkurrence - altså skal tiden reduceres, som går fra at man identificerer et kundebehov til at man får udviklet produktet, klargjort produktionen, skaleret op og begynder at levere de første produkter. Endelig har der i flere år været en tendens til at kunder bestiller hyppigere og i mindre ordrestørrelser, hvilket betyder at mængden af ordrer øges samtidig med at batchstørrelser i produktionen reduceres over tid. Det har den konsekvens, at virksomhederne ofte skal håndtere flere omstillinger for at imødekomme kravene fra markedet end de skulle for blot få år siden.

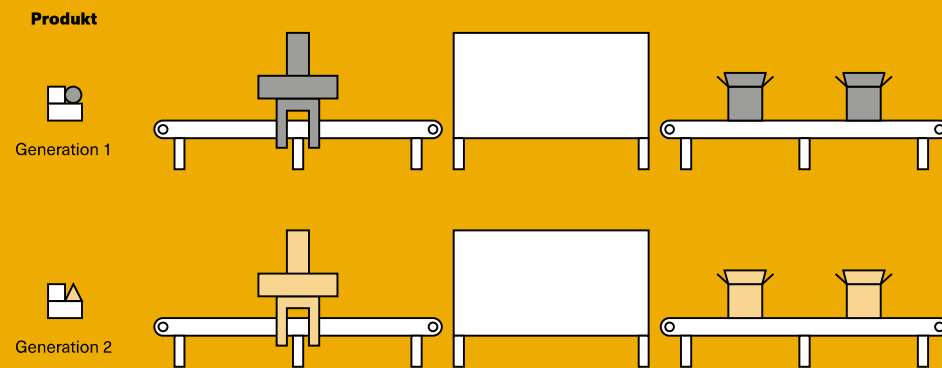
Den højere produktvarians og de mindre ordrestørrelser – og dermed mindre batches – bevirker at der oftere skal foretages omstillinger i produktionen. Dette tager tid og optager kapacitet, der ikke kan udnyttes til at producere på. Den højere varians og de hyppigere produktintroduktioner betyder også ofte at virksomheder skal investere i nyt udstyr i form af maskiner og værktøjer, måske endda nye produktionssystemer, for at kunne producere nye produkter. Dette binder kapital og vil ofte også betyde nedetid på produktionen ifm. ombygning og ibrugtagelse. Alle disse faktorer betyder samlet set, at den værdiskabende tid reduceres, behovet for mere kapacitet øges, og at der skal foretages investeringer i nye funktioner og kapacitet hyppigere.

En af grundene til at dette bliver et problem for mange virksomheder er at man ofte tænker i "et produkt ad gangen" når man designer produktionen, i stedet for at tænke produktporteføljen som en helhed og designe produktionssystemer der er fremtidssikrede i forhold til kommende produkter og markedsusikkerheder.

I virksomheder med en rekonfigurerbar produktion er produktionsudstyr og produktionssystemer designet med det kriterie at det skal være lettere, hurtigere og billigere at lave omstillinger. I en rekonfigurerbar produktion kan nye produkter introduceres ved blot at foretage en rekonfigurering af det eksisterende produktionssystem, hvilket oftest betyder at man blot skal skifte et modul ud med et andet modul frem for at bygge et nyt system eller nyt udstyr. Dette kan gøres hurtigere og billigere end at udvikle nye moduler og systemer, da en stor del af funktionaliteten allerede findes i systemet. Dette er muligt, da mange virksomheders produkter ofte deler mange fællestræk, og dermed også benytter sig af de samme produktionsprocesser. En rekonfigurering består da, som illustreret på figur 1.1, udelukkende af at udskifte de moduler der foretager processer der ændrer sig ved introduktionen af et nyt produkt, og bibeholde de moduler hvor processerne ikke ændrer sig.

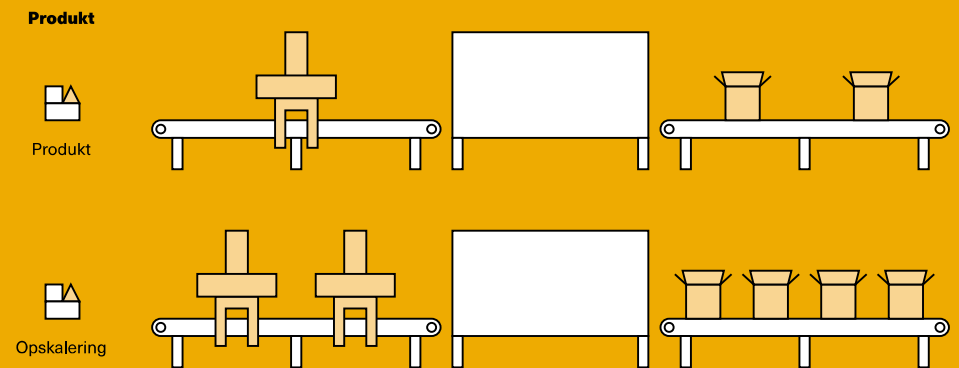
På samme måde kan virksomheder udnytte evnen til at rekonfigurere, når kapacitet skal skaleres. I mange tilfælde bygger virksomheder produktionssystemer til en bestemt kapacitet, der ofte er højere end den kapacitet man har brug for i starten af systemets levetid, netop for at sikre sig at man har tilstrækkelig kapacitet når eller hvis efterspørgslen stiger. Det har den ulempe at man potentielt vil køre med en stor uudnyttet kapacitet over længere tid, imens et nyt produkt indføres på markedet og måske vokser i volumen. Derudover vil det ofte også betyde at muligheden for at opjustere kapaciteten er at bygge endnu et produktionssystem og dermed fordoble kapaciteten, hvis det eksisterende systems kapacitet bliver utilstrækkelig. Med andre ord er de trin man kan ændre kapaciteten med meget store, og kapaciteten er vanskelig at justere ift. markedet. En fabrik med rekonfigurerbare produktionslinjer vil have mulighed for at skalere kapaciteten i mindre trin, fordi produktionslinjerne er designet til det som udgangspunkt. Dette kan eksempelvis gøres ved at forberede systemet til at kunne rekonfigureres med hurtigere og mere automatiserede processer på flaskehalsprocesserne, eller ved at tilføje flere parallelle processer for at øge kapaciteten, som illustreret i figur 1.2. Dette kan imidlertid dog kun lade sig gøre, hvis modularitet og rekonfigurerbarhed er tænkt ind i produktionssystemdesignet fra start.

En anden tilbagevendende udfordring for produktionsvirksomheder der producerer stor varians, er at man investerer i produktionskapacitet til enkelte produktvarianter eller produktfamilier, hvor udstyr eller linjer kun kan producere et enkelt produkt eller en lille mængde forskellige produkter. I det tilfælde vil man skulle investere i meget forskelligt udstyr og mange forskellige systemer – altså et dedikeret system per produkt. I det efterspørgsel på produkter ofte ændrer sig over tid, betyder det at man ofte ikke vil udnytte produktionssystemerne fuldt ud og



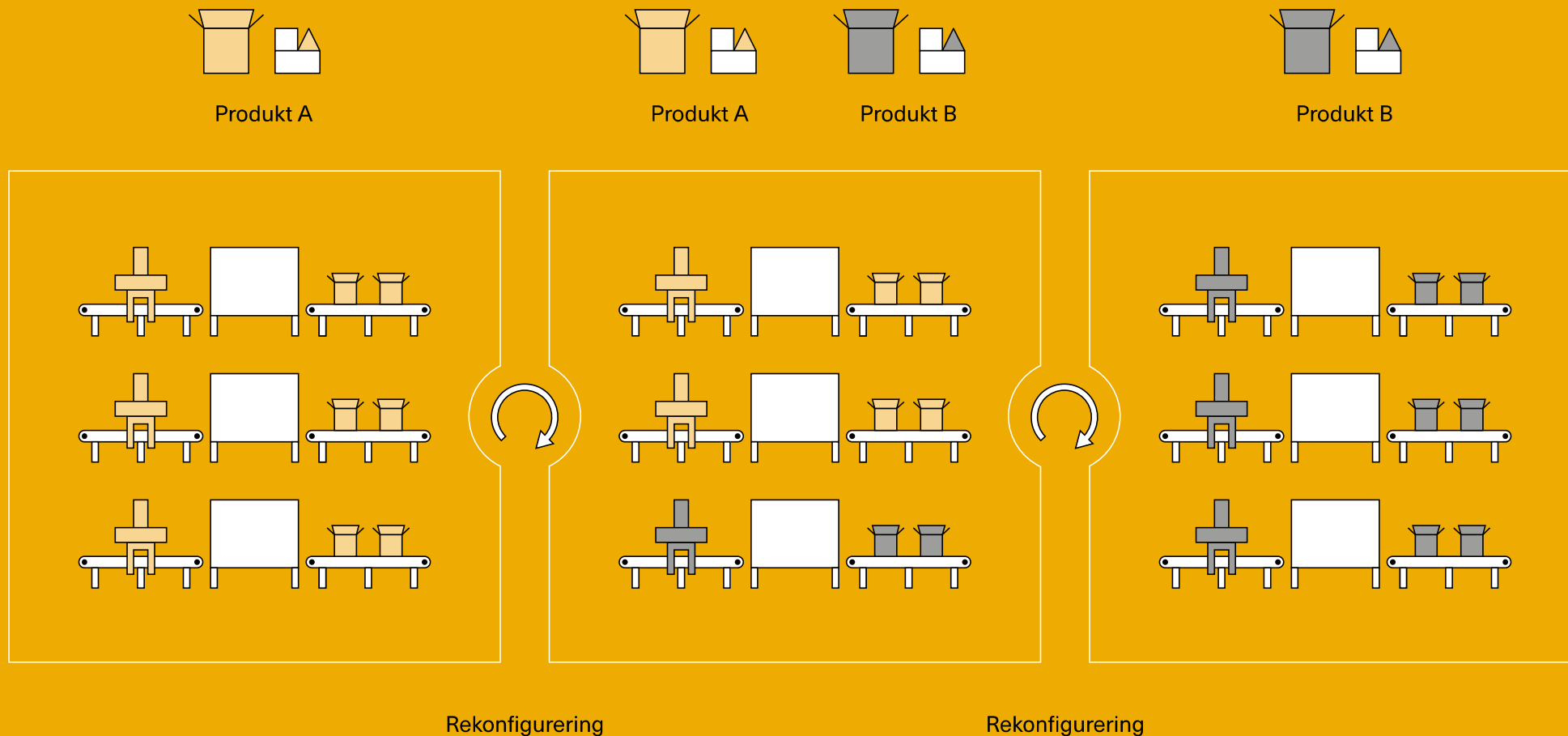
**Figur 1.1.** Grundprincippet i en rekonfigurering for at imødekomme en produktændring.

dermed vil have betragtelig overskydende kapacitet. I en rekonfigurerbar fabrik har man identificeret fællestræk mellem produkterne og de processer der skal bruges til at fremstille dem, og dermed har man også identificeret de processer der adskiller sig mellem produkterne. Man kan derfor bygge produktionslinjer, der har adskilt de fælles processer fra de forskellige processer. De fælles processer er faste moduler, mens de forskellige processer er bygget i moduler der kan udskiftes som efterspørgslen ændrer sig over tid. Dette er illustreret på figur 1.3, hvor tre parallelle linjer producerer produkt A. På et tidspunkt introduceres et nyt produkt B, og en enkelt linje rekonfigureres til at producere dette produkt



**Figur 1.2.** Grundprincippet i en rekonfigurering for at imødekomme ændrede kapacitetskrav.

ved at udskifte et modul, mens de resterende to linjer stadig producerer produkt A. Efter en rum tid udfases produkt A, og alle linjer rekonfigureres til at producere produkt B. På den måde kan forskellige produkter "deles" om kapaciteten på en række rekonfigurerbare linjer, frem for at der skal etableres forskellige linjer for hvert produkt. Dette kan betyde at antallet af linjer og mængden af kapacitet reduceres betydeligt og mindre kapital skal bindes i produktionsudstyr. I eksemplet i Figur 1.3 ville en traditionel tilgang have krævet seks produktionslinjer (tre til hvert produkt), mens den rekonfigurerbare produktion kan imødekomme efterspørgslen med kun tre linjer.



**Figur 1.3.** *Deling af kapacitet ved hjælp af rekonfigurerbare produktionslinjer.*

Den rekonfigurerbare fabrik er altså designet specifikt med henblik på at kunne omstilles effektivt når behovet opstår, hvad enten det skyldes stor varians i produkter, hyppige produktintroduktioner eller ændringer i produktmikset. Udviklingen af en rekonfigurerbar fabrik kræver imidlertid at udviklingsprocesser og koordinering mellem produkt og produktion tager hensyn til rekonfigurerbarhed, som er et vigtigt designkrav. I de resterende kapitler i denne bog præsenteres en række grundprincipper, metoder og værktøjer, der kan hjælpe med at starte rejsen mod den rekonfigurerbare fabrik.



## Kapitel 2

# Omstillingsparathed, rekonfigurerbarhed og fleksibilitet

Den velkendte devise fra Ford Motor Company's grundlægger om at "kunden kan få enhver farve på sin bil, så længe den er sort" holder ikke længere. Hvor produktionsvirksomheder engang kunne fokusere på at fremstille én produktvariant så effektivt som muligt, må dagens – og ikke mindst fremtidens – produktionssystemer være rustet til omskiftelige forhold. Dette indebærer at kunne producere en lang række varianter effektivt, samt imødekomme jævnlige nye produktintroduktioner, hvilket kræver hyppige omstillinger og perioder med optrapning af kapacitet til varierende produktsortimenter. Produktionskravene har altså ændret sig gennem de sidste årtier, som følge af samfundsmæssige, markeds-relaterede, og ikke mindst teknologiske ændringer og fremskridt. For at opnå en sådan omstillingsparathed i produktionen, er det vigtigt at finde den rette kombination af rekonfigurerbarhed og fleksibilitet.

## Kortsigtede og langsigtede ændringer i produktionskrav

Trends i markedet og ændringer i kundebehov kan på mange måder skabe behov for ændringer i både produkter og produktion. Det kan være at lovgivning indenfor et bestemt område ændrer sig, teknologier modnes, nye materialer kommer til, eller at samfundsmæssige ændringer skaber behov for nye eller ændrede produkter. Nogle gange vil en virksomheds produktportefølje ændres drastisk som følge af disse påvirkninger, mens de andre gange udbygges eller opdateres med nye varianter over tid. I den sammenhæng kan man definere en produktvariant som værende en specifik slags eller type af produkt, der tilhører en produktfamilie af forskellige varianter. Det kunne f.eks. være en specifik bil konfigureret af kunden indenfor et bestemt mærke og en bestemt bilmodel. Produktfamilien er altså en gruppe af produktvarianter, som på den ene eller anden måde har nogle fællestræk. Ser man i stedet produktfamilier fra et tidsperspektiv giver det mening at snakke om produktgenerationer, som typisk defineres som specifikke versioner af produkter og produktvarianter over tid. Alt efter hvilken industri og hvilket marked en virksomhed opererer indenfor, vil produktvarianter, produktfamilier, produktgenerationer, samt produktionsvolumen ændre sig på både kortere og længere sigt. Dette skaber naturligvis ændringer i kravene til produktionen på et overordnet plan, men også i forhold til hvilke specifikke processer og udstyr en virksomhed skal anvende. Ændringer af produktvarianter er typisk mest kortsigtede og angiver når en produktion skal overgå fra at producere en variant af et produkt til en anden, f.eks. ved ændret produktmix eller kundetilpasning af produkter. Dernæst kommer ændringer i produktionsvolumen, dvs. opskalering og nedskalering af produktionsoutput, samt produktændringer, dvs. en introduktion af et helt nyt produkt eller en ny generation af en produktfamilie, som typisk er af mere langsigtet karakter. På figur 2.1 kan man se hvordan forskellige trends i produktionsvirksomhedens kontekst kan skabe behov for variant-, volumen- og produktændringer.

## Trends



## Produktudvikling (change drivers)



<b>Variantændringer</b> (Krav på kort sigt)	
<b>Volumenændringer</b> (Krav på mellem sigt)	
<b>Produktændringer</b> (Krav på lang sigt)	

**Figur 2.1.** Trends i virksomhedens kontekst som påvirker varianter, volumen og produkter.

# Produktionsparadigmer

Uanset hvilken form for variant-, volumen- eller produktændring der er tale om, er det vigtigt at produktionssystemet hurtigt, nemt og omkostningseffektivt kan justeres. Overordnet set siger man at produktionssystemer skal være omstillingsparate, hvilket betyder at man hurtigt og effektivt kan omstille produktionssystemet, dvs. alle dets elementer og niveauer til en ny situation uden stor økonomisk omkostning. Med andre ord skal produktionssystemet have en høj grad af produktivitet og ændringsparathed på én gang. Overordnet set findes der to måder at opnå omstillingsparathed på, nemlig ved hjælp af fleksibilitet eller rekonfigurerbarhed. Til forskel fra den traditionelt dedikerede produktion, kendetegnes fleksibilitet og rekonfigurerbarhed på følgende måde:

- Et dedikeret produktionssystem er typisk kendetegnende for en masseproduktion, hvor funktionalitet af systemet er designet og optimeret specifikt for en mindre mængde produktvarianter. Det har derfor en yderst kosteffektiv drift ved høj produktionsvolumen, og er sammensat af udstyr, maskiner og værktøjer som er dedikeret specifikt til formålet.
- Et fleksibelt produktionssystem kan producere en lang række af forskellige produktvarianter og kan nemt skifte fra at producere en type af produkter til en anden. Dette foregår uden nogen bemærkelsesværdig omstillingstid, idet systemet består af udstyr som f.eks. udelukkende kræver en programmering for at producere et andet produkt. Noget af det mest fleksible udstyr man kan tænke sig er f.eks. 3D-printere.
- Et rekonfigurerbart produktionssystem består af moduler, som kan sammensættes i forskellige konfigurationer på tværs af produktvarianter, produktionsvolumen, eller produktgenerationer. Systemet vil altså have forskellige konfigurationer over tid og har dermed kapacitet og funktionalitet som kan tilpasses markedet og behovet.

Ofte vil det dedikerede produktionssystem illustreres som havende yderst høj kapacitet for en enkelt produktgruppe, mens det fleksible produktionssystem illustreres som havende yderst høj funktionalitet uagtet af produktgruppen. Som et trade-off mellem høj kapacitet og høj funktionalitet illustrerer vi ofte det rekonfigurerbare produktionssystem, som er beliggende på diagonalen mellem disse to yderpunkter som vist på figur 2.2. I teorien vil det dermed have nøjagtigt den funktionalitet og kapacitet som der er behov for, når der er behov for det.

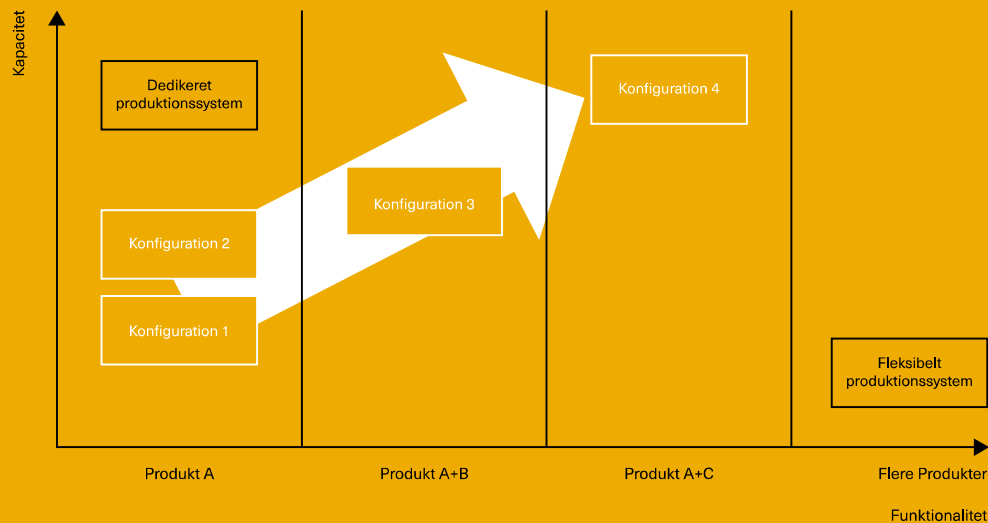
Det er tydeligt at det rekonfigurerbare produktionssystem har nogle markante fordele over de to andre typer af systemer. For det første kan man reducere risikoen for at have enten for høj eller for lav funktionalitet eller kapacitet ift. markedskravene. Dette bidrager til at gøre det rekonfigurerbare system mere robust overfor usikkerheder i f.eks. markeder, aftræk, kundebehov, osv. Derudover er der en stor fordel i at kunne opnå både en kosteffektiv produktion indenfor hver specifik systemkonfiguration, mens man samtidig kan skifte konfiguration når behovet opstår.

Det er nemt at opstille forskellen mellem disse tre typer af produktionssystemer vha. de forskellige kapacitet- og funktionalitetskarakteristika. Det er dog vigtigt at bemærke at de fleste produktionssystemer i virkeligheden vil være en sammensætning af de tre forskellige typer, dvs. have både processer og udstyr som er mere eller mindre dedikerede, fleksible eller rekonfigurerbare. Her kan man forestille sig en produktionslinje som er opbygget overordnet i moduler og dermed kan skifte konfiguration, mens specifikke arbejdsstationer er henholdsvis manuelle (dvs. fleksible) eller dedikerede (f.eks. en dedikeret maskine eller værktøj). Derfor giver det mening at tale om rekonfigurerbarhed og fleksibilitet som generelle kapabiliteter med tilhørende designprincipper, som et produktionssystem kan udvikles ud fra.

## Forskellen mellem rekonfigurerbarhed og fleksibilitet

Umiddelbart kan forskellen mellem rekonfigurerbarhed og fleksibilitet fremstå som et spørgsmål om definitioner og terminologi, men der er faktisk væsentlige forskelle mellem fordelene og designprincipperne for fleksibilitet og rekonfigurerbarhed i et produktionssystem.

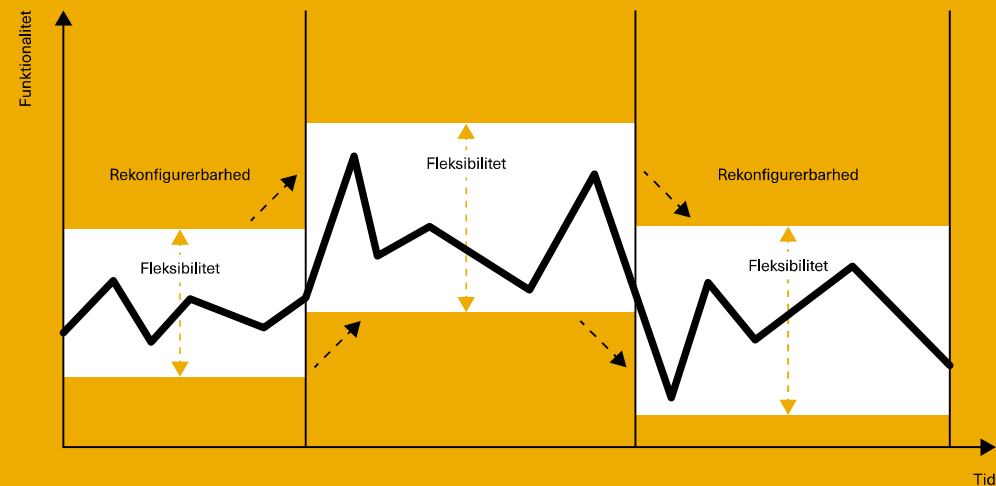
Fleksibilitet defineres typisk som værende evnen til hurtigt og nemt at kunne ændre en produktion, f.eks. en maskine, et værktøj, en arbejdsstation, osv. Dette foregår uden en omfattende omstilling eller strukturel ændring af udstyr. Ofte vil man sige at fleksibilitet er forudbestemt og indbygget forud for dets udnyttelse. Rekonfigurerbarhed er en dynamisk måde at tilpasse produktion på, dvs. strukturelle ændringer af systemet og dets udstyr som giver ny funktionalitet eller kapacitet. Dette indebærer ofte en periode med nedetid, rekonfigurering, samt ramp-up af systemet.



**Figur 2.2** Illustrerer kendetegn for de tre arketyper af produktionssystemer.

Fleksibilitet vil derfor typisk blive udnyttet til at tilpasse produktionen hurtigt og med begrænset indsats indenfor et foruddefineret fleksibilitetsområde, mens rekonfigurerbarhed vil blive brugt til at ændre funktionalitet og kapacitet for derved at imødekomme nye eller ændrede produktionskrav. Netop forskellene mellem fleksibilitet og rekonfigurerbarhed er vist i figur 2.3 og figur 2.4.

Fleksibilitet og rekonfigurerbarhed vil som sagt indgå i forskellige kombinationer i et produktionssystem. Fleksibiliteten repræsenterer systemets eksisterende evne til at ændre sig, mens rekonfigurerbarhed er evnen til at ændre funktionalitet og kapacitet. Den specifikke kombination af de to er yderst kontekstafhængig og





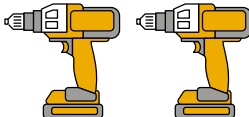
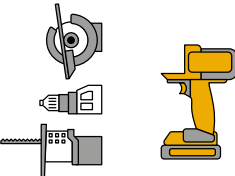
**Figur 2.3.** Forskellen mellem fleksibilitet og rekonfigurerbarhed over længere tid.

bunder i et spørgsmål om der skal investeres i et stort spænd af fleksibilitet fra starten af – som minimerer behovet for rekonfigurering over tid – eller et mere begrænset spænd af fleksibilitet som gennem en modulombygningstilgang kan ændres dynamisk over tid. Oftest vil sidste scenarie være fordelagtigt for netop at udnytte rekonfigurerbarheden i systemet, da dette vil være en kosteffektiv måde at sikre at man i princippet altid vil have netop dén funktionalitet og kapacitet der er behov for. Derfor vil fleksibilitet typisk være smart at udnytte ved mere kortsigtede variant ændringer, mens rekonfigurering typisk vil være fordelagtigt til mere langsigtede volumen og produktændringer.

**Produktudvikling**  
(change drivers)

<p><b>VARIANTÆNDRINGER</b> (krav på kort sigt)</p>
<p><b>VOLUMENÆNDRINGER</b> (krav på mellem sigt)</p>
<p><b>PRODUKTÆNDRINGER</b> (krav på lang sigt)</p>

**Omstillingsparathed af produktionssystem**

<b>Fleksibilitet</b>	<b>Rekonfigurerbarhed</b>
 <p>Ingen omstilling eller korte omstillinger</p>	 <p>Omstilling</p>
	 <p>Rekonfigurering grundet duplikering af funktionalitet</p>
	 <p>Rekonfigurering grundet konvertering af funktionalitet</p>
Ingen strukturelle ændringer krævet	Strukturelle ændringer krævet

**Figur 2.4.** Sammenhæng mellem omstillingsparathed af produktionen på den ene side og ændringer i varianter, volumen og produkter på den anden side.

# Designprincipper for rekonfigurerbarhed

For at sikre at en rekonfigurering foregår hurtigt, nemt og effektiv, findes der en række designprincipper som produktionen bør designes ud fra. Disse er som følger:

- Konverterbarhed: Design af systemet for nem ændring af funktionalitet, f.eks. nem konvertering af eksisterende system og udstyr til nye produktionskrav ifm. produktmix-ændringer eller introduktion af nye produkter eller varianter.
- Skalerbarhed: Design af systemet for nem skalering af kapacitet, dvs. nem op- og nedjustering af systemets produktionskapacitet.
- Modularitet: Systemet er designet som værende modulbaseret, dvs. de operationelle funktioner er opdelt i separate og nemt integrerbare enheder som kan sættes sammen på kryds og tværs.
- Integrerbarhed: Systemet er designet så moduler nemt og præcist kan sættes sammen vha. af standard mekaniske, information, og kontrol interfaces.
- Tilpasset fleksibilitet: Systemets forskellige konfigurationer er designet med tilpasset fleksibilitet (modsat generel fleksibilitet) specifikt til det produktvariant, -familie eller -gruppe, som skal produceres på det givne tidspunkt. Denne tilpasning af fleksibilitet sker dynamisk over tid gennem rekonfigureringer.
- Diagnosérbarhed: Systemet er designet så det nemt og automatisk kan fastslå status og opdage eventuelle fejl under rekonfigurering, ramp-up og drift.
- Mobilitet: Systemets moduler er designet så de nemt kan flyttes rundt f.eks. på forskellige lokationer i produktionssystemet, fabrikken, eller endda mellem fabrikker.

Disse designprincipper skal tænkes ind fra starten når produktionssystemet designes og udvikles. Derudover det vigtigt at bemærke at designprincipper kan tænkes ind i alle niveauer af et produktionssystem, lige fra linjen, cellerne, arbejdsstationerne, til værktøjerne. Derudover vil en rekonfigurerbar produktion ofte kunne understøtte en mere omstillingsparat fabrik og værdikæde, hvor man i princippet kan forestille sig at moduler kan flyttes rundt i fabrikken eller mellem fabrikker for at opnå en høj grad af agilitet.

## Fordele ved rekonfigurerbarhed

Der findes mange fordele ved at udvikle og udnytte rekonfigurerbarhed i produktionen. Alt efter formålet med rekonfigurering, vil fordelene kunne spænde fra mere operationelle til de mere strategiske:

- Reduktion i omstillingstid gennem hurtig rekonfigurering mellem produktvarianter.
- Genbrug fremfor ny udvikling, hvilket giver både økonomiske og tidsmæssige fordele.
- Øget kapacitetsudnyttelse, idet udstyr og linjer kan genbruges og konfigureres på tværs af varianter og produktgenerationer.
- Forlænget livstid på produktionsudstyr og systemer.
- Hurtigere omstilling af eksisterende produktion til nye varianter, produktgenerationer eller ændret aftræk.

## Kapitel 3

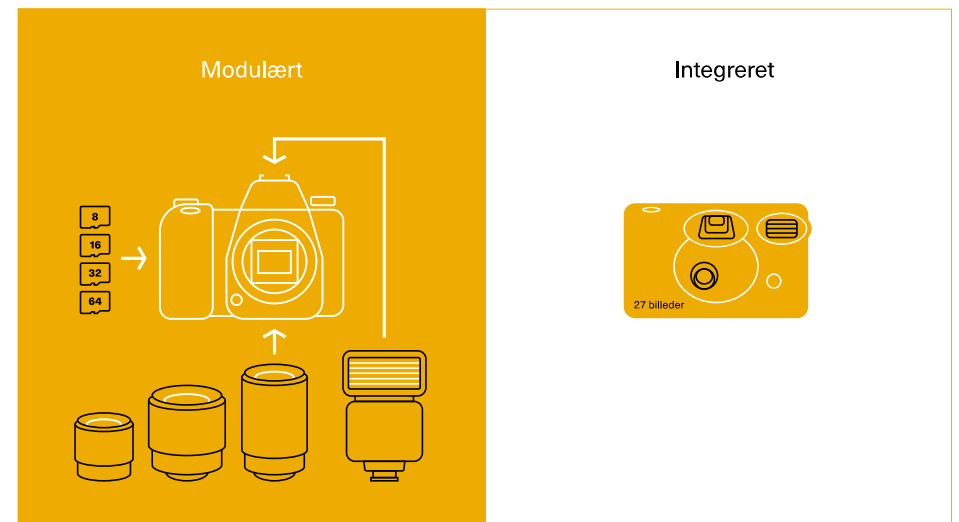
# Rekonfigurerbarhed, modularitet og produktionsplatforme

Modularitet i produkter har gennem årtier været anerkendt som en måde hvorpå man kan øge genbrug af dele af et produkt på tværs af produktvarianter. Som en metafor bruges ofte LEGO klodsen, der med det enkle design og standard interfaces tilbyder uendeligt mange kombinationer af produkter med kun ganske få varianter af komponenterne. Grundlæggende set handler modularisering om at dele en virksomheds produkter, systemer eller processer op i en række mindre klumper som på den ene eller den anden måde giver en forretningsmæssig fordel. Oftest er denne fordel at standardmoduler kan genbruges på tværs af flere produkter, systemer og processer, samt over tid. Et eksempel på dette kunne være en strømforsyning i en PC, hvis funktion er uafhængig af hvilken type af PC der produceres, og hvor kunden ikke får nogen værdi ud af en differentiering af strømforsyningen. I dette tilfælde vil virksomheden kunne producere PC'er med kun en standard strømforsyning i modsætning til en strømforsyning per variant af PC. På denne måde får producenten større skala i indkøb og produktion og dermed stordriftsfordele, hvilket medfører reducerede variable omkostninger i produktet.

## Modulære produkter og produktion

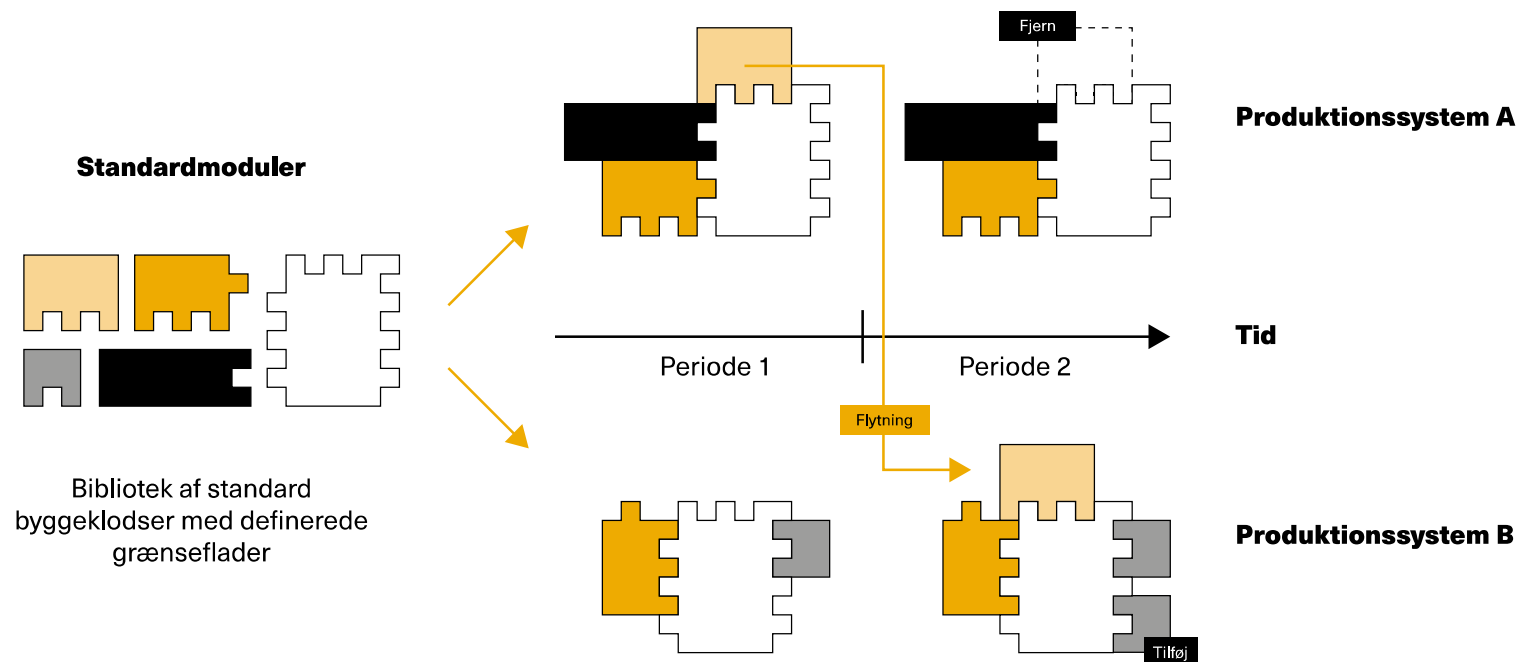
Modularisering betegner dermed processen i at definere hvilke moduler der skal indgå i et produkt, og dermed også hvilke moduler der skal være standardiserede og hvilke der skal være forskellige fra produkt til produkt. Når man påbegynder modulariseringsprocessen vil man ofte gå fra noget integreret til noget modulært, altså fra et integreret produkt til et modulært. Forskellen mellem et integreret og et modulært produkt ligger i antallet af funktioner, som produktet udfører, og hvordan de er koblet til fysiske elementer. I et integreret produkt vil hvert enkelt fysisk element i produktet udføre adskillige funktioner. Derudover vil

der i et integreret produkt sjældent være en egentlig adskillelse af funktionerne, og interaktionen mellem funktionerne vil derfor også være dårligt definerede. I modulære produkter udfører hvert enkelt fysisk element derimod en enkelt (eller meget få) veldefineret funktion, og interaktionerne mellem individuelle funktioner og moduler er velkendte. I visse tilfælde kan integrerede produkter eller enkelte moduler der udfører adskillige funktioner være at foretrække, eksempelvis hvis man ønsker færre samlinger for forbedret aerodynamik. Enkelte af sådanne moduler, som samler flere funktioner i en integreret enhed, forhindrer dog ikke at det endelige produkt er modulært.



**Figur 3.1.** Eksempel på et modulært og et integreret produkt.

Et godt eksempel der kan illustrere forskellen på et modulært produkt og et integreret produkt er et kamera, som vist i figur 3.1. Hvis man som eksempel tager et spejlreflekskamera, vil det være et meget modulært produkt fordi de forskellige funktioner i kameraet er realiseret i forskellige fysiske elementer. Hvis man f.eks. har brug for at kameraet har kraftigere zoom, kan man blot fjerne den linse der sidder på kameraet og erstatte den med en linse der har netop den funktion. På samme tid er de andre funktioner, som eksempelvis at optage billedet og gemme det på et hukommelseskort, indeholdt i et andet modul. Man kan altså skifte en



**Figur 3.2.** Illustration af moduler i produktionssystemet som skaber mulige rekonfigureringer.

funktion, mens man bibeholder andre funktioner. Det giver en række fordele, bl.a. at man kan have et produkt der kan tilpasses over tid og som kan opgraderes efter behov. Sammenligner vi det med et engangskamera, vil det være et integreret produkt fordi alle funktioner er blandet sammen i en enkelt enhed. Man kan således ikke ændre på eksempelvis zoom funktionen i kameraet på en telefon, netop fordi det ikke er implementeret som et modul.

I og med modularisering af såvel produkter som produktionssystemer handler om at få opdelt funktioner i grupper der former fysiske elementer, vil modularisering også definere interfaces mellem modulerne. Disse interfaces vil oftest være standardiserede, hvilket gør at flere forskellige modultyper kan passe sammen,

som eksempelvis Legoklodserne, motoren i en bil eller hukommelse eller Harddisk i en PC, der umiddelbart kan erstattes af et andet modul af samme type. På samme måde vil moduler i et produktionssystem have standard interfaces der gør at man kan udskifte et modul med et andet når der opstår et behov for dette, illustreret på figur 3.2. På denne måde er modularitet i produktionssystemer yderst vigtigt for at opnå omstillingsparathed på flere niveauer. I relation til fleksibilitet til at producere de allerede eksisterende produkter i en virksomhed, giver modularitet mulighed for at lave kosteffektive omstillinger fra et produkt til et andet. Dette kan lade sig gøre ved eksempelvis at introducere modulære værktøjer og fiksturer hvor man kan omstille produktionssystemet fra at producere en produktvariant til en anden ved at udskifte moduler i et værktøj eller fikstur.



Et eksempel på dette er kendt fra virksomheden Hydrema A/S, hvor man udviklede modulære fiksturer til svejsning af gravearme til gravemaskiner. Her gik man fra at have seks dedikerede fiksturer til at have et modulært, rekonfigurerbart fikstur, som på få minutter kunne omstilles fra en produktvariant til en anden. På baggrund af dette kunne Hydrema A/S spare 80% af tiden på omstillinger, idet man ikke længere skulle fjerne det netop brugte svejsfikstur fra svejsecellen, køre det på lager, finde det nye fikstur på lageret, køre det til svejsecellen og sætte det op. På samme måde kan modularitet i produktionssystemer hjælpe til at etablere rekonfigurerbarhed på systemniveau, og altså gøre det hurtigere og billigere at omstille produktionssystemer til at producere nyudviklede produkter, der deler fællestæk med eksisterende produkter. I stedet for at udskifte værktøj i udstyret, så udskiftes, tilføjes eller fjernes maskiner eller celler til produktionssystemet.

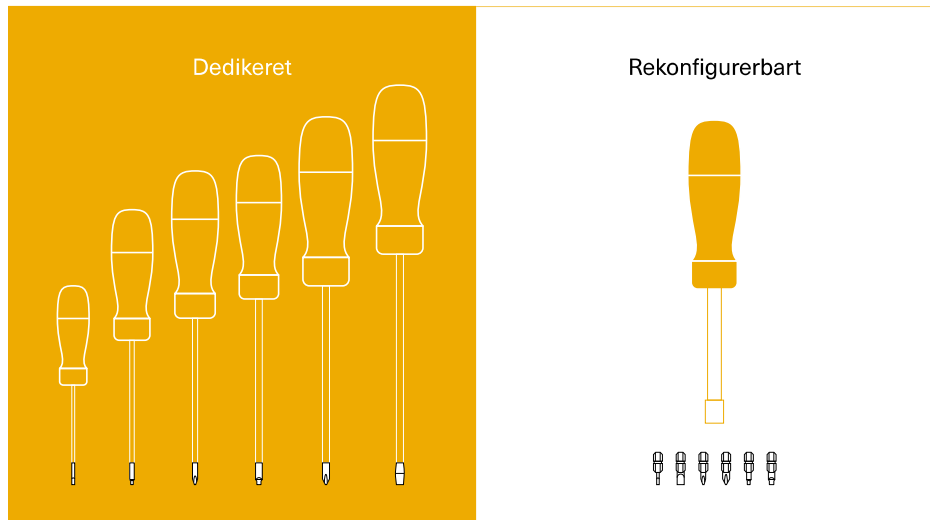
## Produkt- og produktionsplatforme

En produktplatform er et begreb der er nært beslægtet til modularitet. En produktplatform er en række elementer der er fælles for en række af produkter. Disse elementer vil ofte være i form af en række standardiserede moduler, men kan også omfatte teknologi, software og hele delsystemer af et produkt der omfatter flere moduler. Produktplatforme bruges inden for de fleste industrier, men mest kendt er nok platformene fra bilindustrien, hvor især Volkswagen koncernen har haft stor succes med udvikling af fælles platforme for specifikke bilstørrelser op gennem 1990'erne, og senest har udviklet en skalerbar platform der kan anvendes til udvikling og produktion af såvel mikrobiler som større familiebiler. Denne skalerbare platform består af et sæt af standard "byggeklodser" som kan anvendes når der skal udvikles en ny bil, eksempelvis undervogn, motorer, elektronik, bremsesystemer, låsesystemer, sædesystemer, klimaanlæg osv. Alle eksempler på dele af en bil, som de færreste kunder kan se og forholder sig til i en købsituation. Når en ny bil udvikles, vælger udviklerne en delmængde af modulerne som er udviklet på forhånd og får dermed størstedelen af udviklingen af bilen "forærende". På den måde omfatter udviklingen af en ny bilvariant udelukkende de ting der er synlige for kunden, som det er nødvendigt at differentiere, som eksempelvis karosseri og interiør.

Nogle af de virksomheder der er længst med at udvikle og implementere produktplatforme har yderligere udviklet en produktionsplatform. En produktionsplatform er produktionens modsvar til en produktplatform, og indeholder således en række standard elementer der kan bruges til at opbygge et konkret produktionssystem. Dette kunne eksempelvis være standard robotceller til specifikke formål, eller modulariserede fiksturer, eller standard transportbåndsystemer. Ved at anvende standardelementer kan det undgås at man, når man udvikler nye produktionssystemer, "opfinder den dybe tallerken" og i stedet genbruger allerede udviklede og gennemtestede principper. Det kan typisk ikke undgås at der skal udvikles specifikke løsninger når et nyt produktionssystem skal implementeres, men i det omfang at der kan genbruges løsninger fra en fælles platform, kan det skabe store besparelser både i forhold til time-to-market og økonomisk i form af færre krævede ressourcer til udvikling.

Det gør sig imidlertid gældende at der er en gensidig afhængighed mellem produktplatformen og produktionsplatformen. Kapabiliteterne for et nyt produktionssystem afhænger fuldt ud af det produkt der skal produceres, og derfor er det af afgørende betydning at der er en koordinering mellem udviklingen af produktplatforme og produktionsplatforme. Dette kaldes ofte platformsbaseret co-development.

Som et meget forsimplet eksempel på en produktionsplatform kan man bruge en skruetrækker, se figur 3.3. En skruetrækker skal have forskellige former for at passe til forskellige kærvtyper, eksempelvis Torx, Umbraco, eller Philips, der tilmed kommer i forskellige størrelser. Hvis man betragter skruen som et produkt og skruetrækkeren som produktionssystemet vil man hver gang man udvikler et nyt produkt - altså en ny skrue - skulle udvikle og fremstille et nyt produktionsværktøj - skruetrækkeren. Skruetrækkeren har imidlertid nogle grundfunktioner, f.eks. at man skal kunne holde den med en hånd og overføre moment fra håndtag til skruen. Disse funktioner er konstante og ændrer sig ikke hvis man ændrer kærvtypen. Hvis vi i stedet for at bruge en traditionel skruetrækker anvender en bit-skruetrækker, hvor skruetrækkeren har en holder hvori der kan sættes forskellige bits der passer til forskellige kærvtyper, vil man kunne introducere nye skrueer ved blot at udvikle og fremstille en ny bit, hvor de fælles funktioner på tværs af skrueopgaver, nemlig at den kan holdes og overføre moment, findes i bit-skruetrækkeren. Derved kan man spare både investeringer og tid ved den platform-baserede løsning, bit-skruetrækkeren, frem for den traditionelle hvor man har en hel skruetrækker med alle funktioner for hver kærvtipe.



**Figur 3.3.** Illustration af dedikeret og rekonfigurerbart værktøj.

## Interfaces og interaktioner

Som nævnt ovenfor er en af de absolut vigtigste opgaver indenfor modularisering og platformudvikling definitionen af interfaces mellem modulerne, da det er dette som muliggør at sammensætte såvel produkter som produktionssystemer ud fra en platform. Når man skal udvikle et rekonfigurerbar produktionssystem er det imidlertid af lige så væsentlig betydning at der udvikles standardiserede interfaces mellem produkter og produktionssystem. Da dette eksempelvis muliggør at et givent produktionsudstyr kan håndtere flere forskellige produkter, men ligeledes at et produkt kan håndteres af flere forskellige typer af produktionsudstyr. Et eksempel på dette kan ses i Volkswagen koncernens produktplatform MQB og deres produktionssystemplatform MPB. Her er bl.a. standardiserede kontaktflader mellem bunden af bilernes karrosseri og håndteringsudstyr, eksempelvis fastholdelse i svejseceller, håndtering i malerbotter osv. Ved at disse kontaktflader er en del af platformen og dermed standardiserede kan produktionsudstyret håndtere flere forskellige bilmodeller. I visse tilfælde er platformen skalerbar, så der er en variabel afstand mellem kontaktfladerne, som så er aktueret af mekanik i produktionsudstyret, så det automatisk kan omstilles fra en model til en anden, og man dermed opnår større fleksibilitet.

## Fordele ved modularitet og platforme i produktionen

Hvis man skal opsummere fordelene ved modularitet og platforme i produktionssystemer, kan man i meget grove træk sige at man opnår de samme fordele som gennem modularitet og platforme i produkter. Man opnår dels at kunne genbruge både designs af løsninger, men også fysisk udstyr på tværs af produktionssystemer. Man kan opnå at kunne udvikle nye produktionssystemer langt hurtigere og billigere, netop fordi man har bedre mulighed for at udnytte designs, der allerede er udviklet og testet. Man opnår at kunne ændre i systemerne gennem deres levetid, ved at udskifte moduler så systemet tilpasses nye behov, hvilket svarer til en rekonfigurering. Man kan altså sige at modularitet i produktionen er yderst vigtig når man forsøger at etablere en rekonfigurerbar produktion.

## Kapitel 4

# REKON-metoden: Fire trin til udvikling af rekonfigurerbar og omstillingsparat produktion

Udvikling af produktionssystemer og udstyr er en kompliceret proces – især når der skal udvikles udstyr som kan producere ikke bare den umiddelbart forstående produktvariant eller generation, men også skal kunne rekonfigureres nemt og hurtigt til nye produkter, varianter, eller ændrede markedsaftræk. Netop derfor er det nærliggende at spørge hvordan man som produktionsvirksomhed rent faktisk kan udvikle, implementere og udnytte en rekonfigurerbar og modulær produktion. REKON-metoden, som består af fire enkle trin, er udviklet netop med dette formål og kan bruges til at understøtte design og udvikling af rekonfigurerbar produktion.

## Udfordringer i at udvikle rekonfigurerbar produktion

En af de største forskelle mellem den rekonfigurerbare produktion og den traditionelt dedikerede produktion er at udstyret nemt og hurtigt kan rekonfigureres for at opnå ny kapacitet eller funktionalitet, fremfor at være udviklet og optimeret specifikt til et produkt eller en mindre gruppe af produktvarianter. Dette giver en lang række fordele såsom øget genbrug fremfor at udvikle på ny, øget kapacitetsudnyttelse, forlænget levetid på udstyr, hurtigere omstillinger, samt kortere tid til at få produkter på markedet.

Generelt set er det naturligvis ikke nyt, at netop genbrug af produktionssystemer og udstyr vil være en fordel, og at man som virksomhed altid vil forsøge at gøre dette i praksis for at spare tid og investeringer. Forskellen mellem denne form for ad-hoc eller tilfældigt genbrug af udstyr kontra rekonfigurerbarhed ligger dog netop i, at man designer og udvikler systemer og udstyr eksplicit fra starten med henblik på nem, hurtig og maksimal genbrug over tid og på tværs af produktvarianter. Med andre ord skal produktionen udvikles til at være modulær og platformsbaseret fra starten. Der findes dog en lang række udfordringer i relation til dette, samt en lang række årsager til at traditionel produktionsudvikling ikke tager højde for disse. Heriblandt bør nævnes:

- Produktionssystemer udvikles ofte efter det nært forestående produkt er stort set færdig udviklet, eller som en af de sidste faser i processen for at udvikle nye produkter. Oftest optimeres produktionen til dette produkt/design for lavest mulige enhedsomkostning, uden eksplicit at tage stilling til eventuelle ændringer i produktet eller behovet over en længere tidshorison.
- Scenariobaserede tilgange er nødvendige når man udvikler et rekonfigurerbart system og det er essentielt at analysere og evaluere systemets robusthed overfor usikkerhed og produktændringer i fremtiden.
- Evaluering og kvantificering af behovet for rekonfigurerbarhed kan være kompliceret og mange designvalg skal sættes op og evalueres imod hinanden.
- Designprincipper for rekonfigurerbarhed, herunder konverterbarhed, skalerbarhed, modularitet, integrerbarhed, tilpasset fleksibilitet, diagnosticerbarhed og mobilitet, skal tænkes ind i de tekniske løsninger og i alle fysiske og logiske systemelementer.

Sagt med andre ord: når en virksomhed ønsker at udvikle et rekonfigurerbart produktionssystem, skal man ikke bare tage stilling til de gængse designaspekter, såsom type af udstyr, layout, automationsgrad, flow, systemintegration, kapacitet, faciliteter, kvalitetssikring, osv. Udvikling af et rekonfigurerbart produktionssystem kræver at man derudover også tager stilling til forskellige mulige konfigurationer af udstyret, modularisering, genbrug, og hvordan man minimerer tiden for en rekonfigurering. Netop derfor er der behov for en ny metode til at understøtte udviklingen af rekonfigurerbar produktion.

# REKON-metoden

REKON-metoden kan bruges til at guide og understøtte udvikling af rekonfigurerbare produktionssystemer og imødekommer dermed de udfordringer som er blevet nævnt her. Metoden er baseret på mere end 20 års forskning indenfor rekonfigurerbar produktion og produktionsudvikling, og er samtidig blevet testet og videreudviklet gennem samarbejde med en lang række forskellige virksomheder og forskningsinstitutioner, som har arbejdet med forskellige trin og værktøjer i metoden. De fleste virksomheder som har anvendt metoden, indgår som eksempler i denne bog.

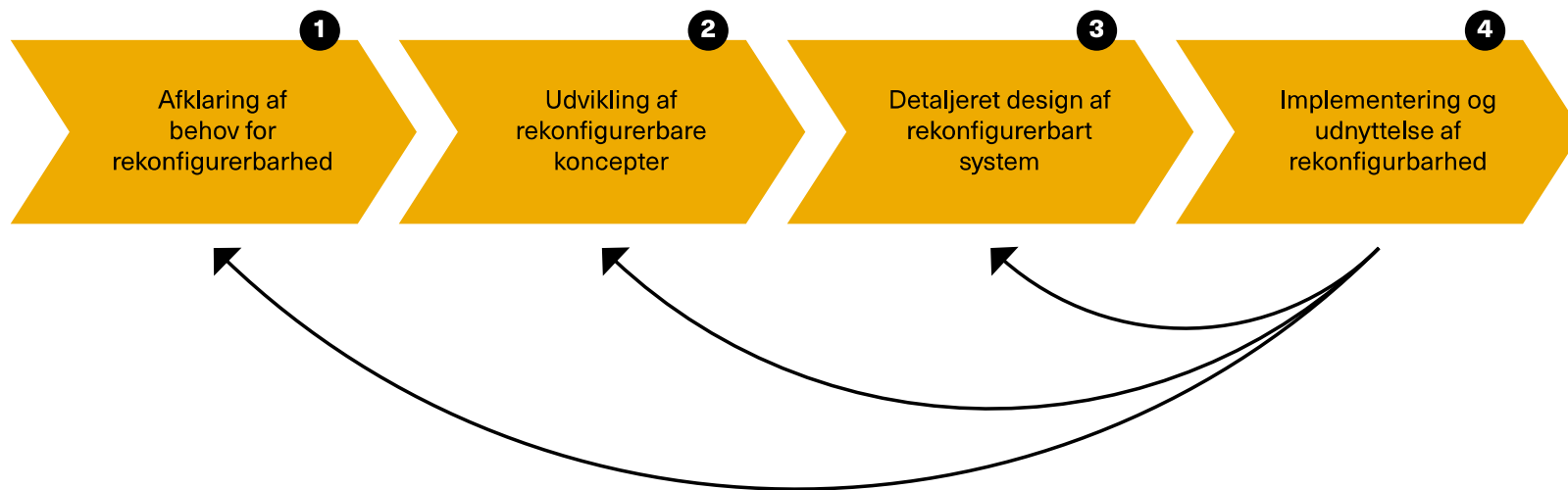
REKON-metoden består af fire overordnede trin (se figur 4.1), som i grove træk følger gængse processer for udvikling, dvs. afklaring af behov, udvikling af koncepter, detaljeret design, samt implementering og udnyttelse. Derfor er REKON-metoden ikke en radikal forandring af de overordnede trin, som virksomheder typisk gennemgår i udvikling af produktionssystemer, men nærmere en forlængelse, som sikrer at rekonfigurerbarhed bliver systematisk tænkt ind igennem hele processen. Netop her er det vigtigt at pointere, at hvert af de fire trin i metoden består af en række sammenhængende aktiviteter, som hver især er understøttet af de såkaldte REKON-værktøjer. Både aktiviteter og værktøjer vil blive grundigt gennemgået og eksemplificeret i de kommende kapitler.

Det er altså meningen at man som produktionsvirksomhed kan gennemgå REKON-metodens aktiviteter og bruge de tilhørende værktøjer i eksisterende udviklingsprocesser og projekter i produktionen. Dette vil understøtte udviklingen af udstyr og systemer som er rekonfigurerbare og har forlænget levetid, udover blot bare for det først forestående produkt eller produktfamilie.

De fire trin i REKON-metoden hænger tæt sammen. Det første vigtige trin er at afklare behov for rekonfigurerbarhed, hvilket indebærer en kortlægning af ikke bare de kortsigtede produktionskrav, men også de forventede ændringer samt usikkerheder ift. produktændringer, mixændringer, og volumenændringer for fremtiden. Derudover vil man ofte i dette første trin fastslå det nuværende niveau af rekonfigurerbarhed, samt slutteligt afklare potentialer og opstille en business case. Resultatet af trin 1 er en liste af tekniske og økonomiske krav til systemets rekonfigurerbarhed, som tages videre i trin 2. I trin 2 vil det være gennemgående at identificere og analysere produktkarakteristika og variation, samt kortlægge interfaces til produktionen. Derudover skal der genereres koncepter for de tekniske løsninger til systemet og dets moduler, og slutteligt foregår en systematisk og økonomisk evaluering af hvilket koncept som har det rette niveau og type af rekonfigurerbarhed. Det valgte koncept tages videre i detaljeret design i trin 3, hvor specifikke moduler og system interfaces designes, evalueres og dokumenteres. Trin 4 er det efterfølgende og sidste trin i REKON-metoden, hvor systemet implementeres, indkøres og rekonfigureres. I princippet udgør trin 4 faktisk ikke



**Figur 4.1.** REKON-metodens fire trin.



**Figur 4.2.** Iterationer mellem REKON-metodens trin.

## Trin, aktiviteter og værktøjer

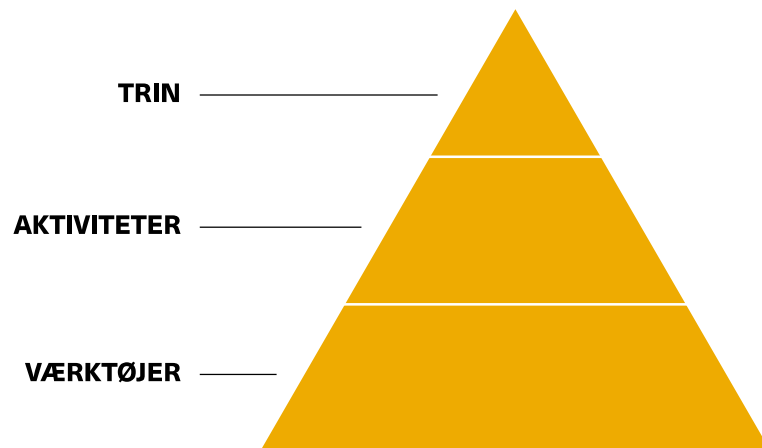
Det unikke ved REKON-metoden er som sagt at hvert trin udgøres af en sammenhængende række af aktiviteter, som understøttes af forskellige REKON-værktøjer. Som det kan ses i figur 4.3, så er REKON metodens værktøjer fundamentet for at udføre aktiviteter i hvert trin

en designaktivitet, som de resterende trin, men derimod et trin som understøtter både implementering og udnyttelse af rekonfigurerbarhed. Når systemet og udstyret er sat i drift, vil trin 4 understøtte en kontinuerlig evaluering af om systemets rekonfigurerbarhed og ydeevne matcher produktsortiment og markedet. Er dette ikke tilfældet, vil en rekonfigurering være nødvendig. Denne rekonfigurering kan være af større eller mindre omfang – det kan være at man skal designe og udvikle helt nye moduler som skal anvendes, og det kan også være at man bare skal skifte til en allerede afprøvet konfiguration. Alt efter hvor omfattende denne rekonfigurering er, vil man efter trin 4 vende tilbage til et af de foregående trin, for derefter igen at have et system i drift. Derfor indgår der forskellige tilbageløb i REKON-metoden som ses i figur 4.2, som netop understøtter både udvikling og udnyttelse af rekonfigurerbarhed på længere sigt.

Værktøjerne er det fundamentale ved REKON-metoden og der findes en lang række af disse til at understøtte hver enkelt aktivitet i hvert trin. F.eks. kan et værktøj være en metode til at kortlægge og identificere krav til rekonfigurerbarhed (Screeningsværktøj for rekonfigurerbarhedskrav), en model til at evaluere totale omkostninger for forskellige rekonfigurerbare produktionssystemkoncepter (Simpel beregningsmodel), eller en fremgangsmåde for at forudsige konfigurationer af systemet ud fra produktkarakteristika (Værktøj til forudsigelse af rekonfigurering). Alle REKON-værktøjer er baseret på forskning og er både testet og dokumenteret i forskellige produktionsvirksomheder. I figur 4.4 kan man se hvordan alle aktiviteter har et tilhørende værktøj.

## Brug af REKON-metoden

REKON-metoden bruges til udvikling af produktionssystemer. Selvom disse systemer oftest associeres med deres hardware eller fysiske elementer, dvs. udstyr, maskiner, værktøjer, materialehåndtering, osv., udgøres en lige så vigtig komponent af softwaresiden, de såkaldte logiske elementer, dvs. sensorer, kontrol, MES, ERP, osv., samt mennesker, operatører og ledelse. Produktionssystemets rekonfigurerbarhed og omstillingsparathed udgøres ikke udelukkende af systemets hardware og udstyr, men skal ligeledes tænkes ind i de resterende systemelementer. F.eks. kan man forstille sig et delvist manuelt montagesystem, hvor det vil være nødvendigt at kunne foretage hurtigere omstillinger mellem forskellige kundetilpassede produktvarianter gennem både mere fleksible værktøjer, men også en bedre planlægning, forudsigelse, og udførelse af systemets rekonfigurering. Også i dette tilfælde kan REKON-metoden bruges, mens den selvsagt også kan bruges i tilfælde hvor der er tale om design af nyt produktionsudstyr eller re-design og bedre udnyttelse af eksisterende udstyr. Ligeledes vil man også kunne fokusere på forskellige niveauer af et produktionssystem, f.eks. på hele montagelinjen eller på en specifik arbejdsstation eller endda et specifikt værktøj.



**Figur 4.3.** REKON-værktøjer som fundament for at udføre aktiviteter og trin.

Et vigtigt budskab i denne bog er netop at der ikke findes en "one-size-fits-all" løsning til at opnå rekonfigurerbarhed og øget omstillingsparathed. Tværtimod vil omstillingsparathed, som en kombination af rekonfigurerbarhed og fleksibilitet, skulle indtænkes og udnyttes i alle aspekter af et produktionssystem, som kan se vidt forskellige ud, alt efter om man producerer biler, vindmøller eller sejl til både. Med andre ord er rekonfigurerbarhed en kapacitet i et produktionssystem, som kan designes og realiseres på mange forskellige måder. REKON-metoden kan hjælpe med at udvikle og identificere den rigtige løsning i hver specifik virksomhedskontekst. I denne bog vil der gennemgående blive frembragt forskellige virksomhedseksempler, som eksemplificerer anvendelsen af REKON-metoden og de tilhørende værktøjer. Disse virksomhedseksempler vil synliggøre ikke bare hvordan en virksomhed konkret er tilgået udvikling af rekonfigurerbar produktion, men også hvordan udgangspunkt og fokus for udviklingsopgaven kan være forskellig. I nogle situationer vil man ønske at bruge REKON-metoden til at understøtte udvikling af nye produktionssystemer, mens man i andre tilfælde ønsker at udnytte eksisterende udstyr bedre og øge graden af rekonfigurerbarhed. Dan-Foam ApS casen viser eksemplet hvor REKON-metoden er brugt til understøttelse af et helt nyt system, mens Kamstrup A/S casen viser en situation hvor man ønsker at bruge metoden og værktøjerne til både at kortlægge eksisterende grad af rekonfigurerbarhed og identificere områder med behov for re-design. Derudover, vil den følgende case fra Volvo Group Trucks Operations synliggøre hvordan en virksomhed har indtænkt de forskellige trin og aktiviteter i REKON-metoden i deres egen proces for udvikling af produktionssystemer.



**Figur 4.4.** Oversigt over REKON-værktøjer og deres relation til metodens trin og aktiviteter.

## Case:

# Udvikling af rekonfigurerbarhed ved Volvo Group Trucks Operations

Nye produkter introduceres med højt tempo og produkters livscyklus er blevet kortere. Derfor skal fremtidens industrielle produktionssystemer være mere tilpasningsdygtige og kunne håndtere flere produkter på samme tid. Visionen for Volvo Group Trucks Operations (herefter Volvo GTO) er at have en rekonfigurerbar montage, der lettere kan tilpasses nye produkter og ændringer i volumen. Tobias Högfeldt, som er Produktionsingeniør ved Volvo GTO siger: "Det betyder, at vi kan øge volumen og kapaciteten ved at tilføje flere moduler, og det betyder mindre investeringer ad gangen. Efterspørgslen vil stige over



tid, men vi vil gerne undgå at tage alle de store investeringer med det samme. Vi har også et stort behov for at være hurtige til at tilpasse os til nye teknologier i forhold til el-lastbiler. Før lavede vi ændringer på platformene, nu er det helt nye platforme, vi skal producere – på den halve tid”.

I Volvo GTO betød implementeringen af rekonfigurerbar produktion en ændring i tankegangen om hvordan man designer sine produktionsaktiviteter. Dette omfatter netop ikke kun udviklingen af tekniske løsninger, der er modulære, men også at få organisationen om bord i den nye langsigtede tankegang til produktionsudvikling. Dette indebærer at hele den eksisterende tilgang til at udvikle produktionssystemer blev gennemgået og gentænkt, med det formål at sikre inklusion af overvejelser omkring rekonfigurerbarhed. Derfor gennemgik Volvo GTO bl.a. følgende for at skabe et nyt mindset omkring rekonfigurerbarhed og ikke mindst lave nye guidelines for produktionsudvikling:

- En ændret måde at kortlægge nuværende udstyr og produktionslinjer medhenblik på at identificere nuværende niveau af dedikeret, fleksibelt og rekonfigurerbar udstyr. Med en systematisk metode for at udføre dette, vil en analyse af produktportefølje og scenarier for fremtiden hurtigt kunne sammenlignes med eksisterende produktionskapabiliteter, og dermed fastslå fokuspunkter for design i eksisterende processer, samt i højere grad lede til genbrug og modularisering. Derudover kunne Volvo GTO fastsætte mål og KPI'er for rekonfigurerbarhed i fremtiden.
- En ny måde at evaluere og analysere investeringer i produktionsudstyr, som i højere grad tog højde for de ændringer og rekonfigureringer, som en produktionslinje kan gennemgå. Med nye modeller og tilgange til at lave evaluering af omkostninger og investeringer i produktionen, blev det rent faktisk muligt at kvantificere fordelene ved rekonfigurerbarhed.
- En ny tilgang til at lave balancering af montagelinjer ifm. rekonfigurering, som kan benyttes når f.eks. en ny produktvariant introduceres og en eksisterende linje skal rekonfigureres.

En vigtig læring i Volvo GTO's arbejde med at gå imod rekonfigurerbar produktion var at det ikke udelukkende var et spørgsmål om at være i stand til at udvikle modulære tekniske løsninger. I højere grad krævede det også at hele virksomhedens tilgang til udvikling, samt de understøttende værktøjer blev gentænkt, og at nye måder at arbejde på i udvikling blev sammensat, herunder også samarbejde med udstyrsleverandører.

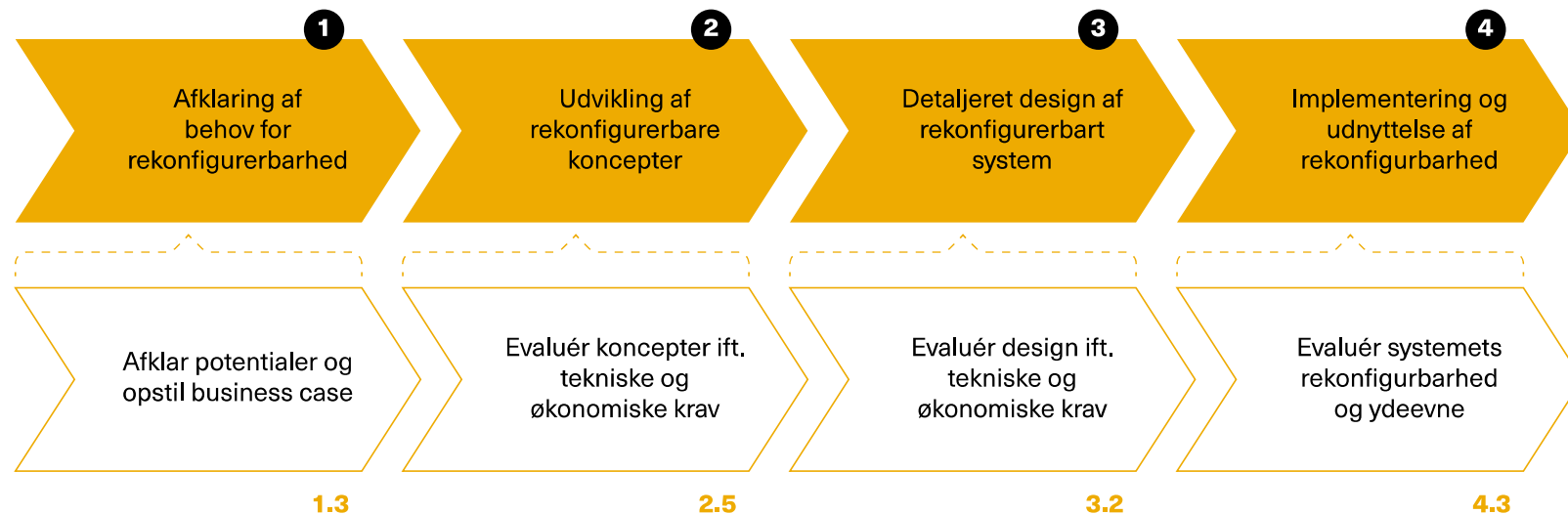


## Kapitel 5

# Evaluering af rekonfigurerbarhed

Evaluering består hovedsageligt af en række økonomiske og tekniske analyser som er essentielle i udviklingen af rekonfigurerbare produktionssystemer og understøtter de designvalg som foretages. Med andre ord: design og evaluering i samspil udgør produktionsudvikling. Igennem hele REKON-metoden indgår eva-

luering i samspil med design. I starten af udviklingsprocessen (trin 1) er fokus på den økonomiske evaluering af rekonfigurerbarhed, hvor en indledende business case skal opstilles for at afklare potentialerne for rekonfigurerbarhed før reelle løsninger bliver udtænkt i senere trin. Herefter igangsættes selve koncept-udviklingen (trin 2), hvor forskellige rekonfigurerbare produktionskoncepter skal evalueres ud fra både en økonomisk og teknisk betragtning. På baggrund af dette, kan et koncept vælges og føres videre i detaljeret design (trin 3), hvor forskellige designvalg igen skal kunne evalueres og udvælges. Slutteligt er det nødvendigt at foretage løbende evaluering af det rekonfigurerbare produktionssystem under driften (trin 4), for at analysere systemets kapacitet og funktionalitet ift. produkt og markedskrav, for derved at vide hvilke rekonfigureringer der er nødvendige at foretage. I figur 5.1. ses de aktiviteter i REKON-metodens forskellige trin, som udgøres af evaluering. I dette kapitel vil principperne for at lave både de økonomiske og tekniske evalueringer af rekonfigurerbarhed blive gennemgået.



Figur 5.1. Evalueringsaktiviteter i REKON-metodens fire trin.

# Evaluering i samspil med udviklingen af rekonfigurerbarhed

Rekonfigurerbarhed er et nyt fænomen i mange produktionsvirksomheder. Derfor vil man typisk, før man starter et reelt udviklingsprojekt, skulle motivere ønsket om at introducere modularisering og rekonfigurerbarhed i produktionen. Samtidig vil det være nødvendigt at evaluere løbende i selve udviklingsprojektet, og lave revidering af designs i overensstemmelse med dette. Overordnet set skelner vi mellem økonomisk evaluering og teknisk evaluering i REKON-metoden.

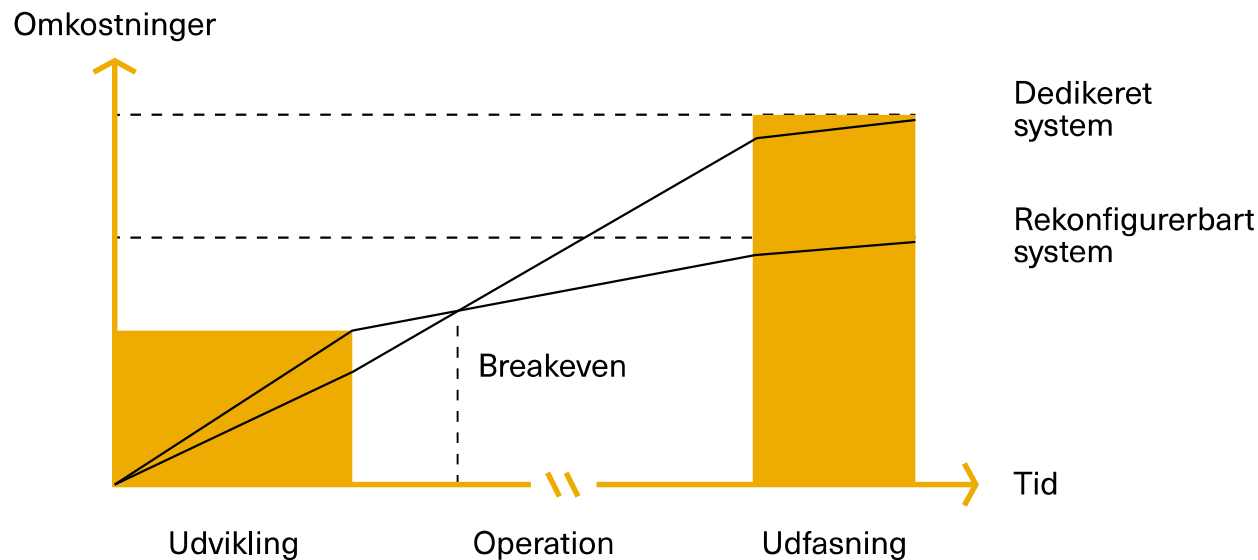
Økonomisk evaluering bruges overordnet set til at undersøge og bevise rentabiliteten af løsningsalternativerne, som danner beslutningsgrundlag for en investering i produktionen. Resultaterne er brugbare til at sikre finansiel forpligtelse og ledelsesmæssig opbakning, samt nødvendige for at kunne gå fra et trin i REKON-metoden til et andet (se figur 5.1.). Teknisk evaluering bruges til at teste og validere løsninger, typisk på eksperimenterende vis gennem forskellige former for simuleringer. Dette er brugbart både til at sikre, at de rigtige overordnede designbeslutninger tages, samt at de rigtige tekniske løsninger anvendes til at realisere rekonfigurerbarhed. De tekniske og økonomiske evalueringer er især kritiske i starten af udviklingsprocessen, da man som tommelfingerregel siger, at cirka 80% af udviklings- og investeringsomkostningerne for et produktionssystem er bestemt af tidlige designbeslutninger – og derfor bør være yderst velbegrundede.

Evaluering er altså en gennemgående og løbende aktivitet som sker i alle trin i REKON-metoden. Det vigtige er, at graden af detaljering og viden omkring produktionsdesignet gradvist øges gennem de forskellige trin og aktiviteter, hvilket også gør at evalueringsmetoderne og tilgangene kan detaljeres mere og mere. Der vil overordnet set være en række beslutninger i relation til rekonfigurerbarhed, som skal evalueres i de forskellige faser:

- Trin 1: I dette trin er det typisk vigtigt at retfærdiggøre en merinvestering eller øgede udviklingsomkostninger i et rekonfigurerbart og modulært produktionssystem, fremfor traditionelle dedikerede produktionssystemer. Dette vil ofte kræve en business case, som tager højde for de fordele som følger et rekonfigurerbart system, f.eks. en indledende vurdering af påvirkning af omstillingstid, udstyrsinvestering, kapacitetsudnyttelse, produktintroduktionstid, osv. Her vil man ofte ikke have stor viden om, hvordan det færdige system vil se ud, men mere en overordnet idé om at rekonfigurerbarhed giver mening og hvilke potentialer dette vil medføre.

- Trin 2: I dette trin vil man typisk have mere viden om de mulige produktionssystemkoncepter, som kan realisere den omstillingsparathed der blev identificeret et behov for i trin 1. Idet der findes forskellige kombinationer af fleksibilitet og rekonfigurerbarhed, forskellige grader af dette, samt forskellige tekniske løsninger, er det vigtigt at bestemme hvilket koncept der har den rette grad og type af rekonfigurerbarhed. Man kan f.eks. forestille sig en fikstur, som er yderst fleksibelt og kan dække mange fremtidige produktvarianter og en modulær fikstur, som kræver adaptationer for at blive tilpasset fremtidige varianter. Her vil både økonomisk og teknisk evaluering være nødvendigt for at bestemme hvilket koncept, der skal gå videre i detaljeret design.
- Trin 3: I dette trin vil detaljeringsgraden af det færdige design af produktionssystemet være højt, hvilket muliggør en mere detaljeret og specifik teknisk og økonomisk evaluering. Specifikt ift. rekonfigurerbarhed er det vigtigt at vurdere de tekniske løsninger, i form af moduler og interfaces, i forhold til eksisterende og fremtidige varianter. Man kan f.eks. ofte også have behov for at verificere de tekniske løsninger og simulere en rekonfigurering af produktionssystemet.
- Trin 4: I dette trin vil det ofte være nødvendigt at simulere f.eks. en rekonfigurering af systemet, og løbende evaluere om systemets kapacitet og drift er passende, eller om der skal en rekonfigurering til, og i så fald hvilke konfigurationer der er tilstrækkelige.

Rekonfigurerbare produktionssystemer kan være svære at retfærdiggøre fra et økonomisk perspektiv. Typisk kræver de en øget forhåndsinvestering, samt dertilhørende udviklingsindsats i forhold til de traditionelle dedikerede systemer. Til gængæld henter investeringen ofte sig selv hjem på længere sigt, hvor dele af systemet genbruges og udskiftes i takt med at der sker ændringer i produktionsmikset, som følge af ændringer i produktporteføljen og aftrækket. Her medfører den tiltænkte omstillingsparathed evnen til at reagere på omskiftelighed og opnå break-even ved ændringer som afbilledet på figur 5.2. De traditionelle tilgange til økonomisk evaluering, såsom almindelige nutidsværdi-modeller, rækker ikke til at håndtere kompleksiteten og indfange langtidsfordelene ved rekonfigurerbare systemer, da de som oftest er afgrænsede til et enkelt produkt med en kort tidshorisont. Derfor er en justering af tilgangen og værktøjer som traditionelt benyttes nødvendig.

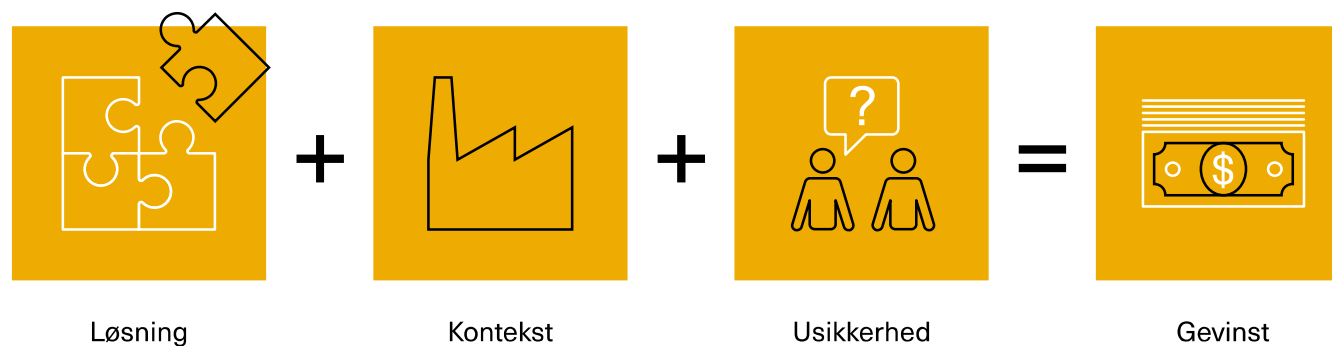


**Figur 5.2.** Illustration af omkostninger, som de typisk vil se ud i det rekonfigurerbare og dedikerede produktionssystem i hele systemets levetid.

## Økonomisk evaluering af rekonfigurerbar produktion

Når man foretager økonomisk evaluering i udviklingen af et rekonfigurerbart produktionssystem, vil der overordnet set skulle indgå fire aspekter i evalueringen. Disse fire aspekter relaterer sig til at evaluere hvorvidt et sæt løsninger, i en kontekst med usikkerhed, medfører en gevinst. Netop usikkerhed er en vigtig faktor at tænke ind, da rekonfigurerbar produktion har sine største fordele i at kunne omstilles nemt til nye markedskrav og produkter. Usikkerheder i markedsaftæk, tidspunkt for produktintroduktioner, produktmix, samt fremtidige varianter vil altså være essentielt at tænke ind i en motivering af det rekonfigurerbare produktionssystem.

Hvert aspekt (se figur 5.3) kan indeholde en række parametre, hvis relevans skal overvejes i henhold til casen, og dernæst specificeres eller estimeres på baggrund af historisk data, nuværende information og fremtidige prognoser. Parametrene indgår som inputs i en beregning eller beregningsmodel, hvor valget heraf afhænger af tilgængelige ressourcer samt deadline for resultaterne. I trin 1 er detaljeringsgraden lille, men igennem udviklingsprojektet stiger detaljegraden på løsningsdesignet, og dermed også behovet for at inkludere flere valg og udfaldsmuligheder. Derved kan man også øge pålideligheden af resultaterne. Den økonomiske evaluering er derfor i høj grad en inkrementel og iterativ proces der afhænger af selve designprocessen.



**Figur 5.3** Aspekter der skal betragtes i evaluering af det rekonfigurerbare produktionssystem.

Løsningen omhandler de tiltænkte muligheder for produktionssystemet der kan behandles på flere detaljeringsniveauer. På et simpelt niveau kan systemet betragtes som en black-box, og der fokuseres på den estimerede investeringsomkostning og tid forbundet med rekonfigureringer. Dette vil typisk ske i trin 1 i REKON-metoden. På et komplekst niveau, f.eks. i trin 3, bliver systemarkitekturen nedbrudt til moduler, hvor det specificeres hvilke der benyttes, genbruges og varieres imellem konfigurationer. Den yderligere detaljeringsgrad tillader en differentiering af parametre efter forskellige kombinationsmuligheder af konfigurationer, som kan være nødvendigt når arkitekturkompleksiteten forøges med et detaljeret design. Det nødvendiggør, at man specificerer investeringsomkostninger for hvert enkelt modul til forskellige konfigurationer, samt udskiftningstiden af modulerne imellem konfigurationsmulighederne. Derudover muliggør det, at man kan inkludere fremskaffelsestiden, produktionslevetiden og vedligeholdelsestiden for hvert enkelt modul, samt tiden det tager at køre systemets produktionskapacitet op til et forventet niveau. Uanset hvilket detaljeringsniveau man er på, anbefales det at beregne gevinsten relativ til et udgangspunkt, der bygger på anvendte principper i det nuværende produktionssystem.

Konteksten omhandler produktionsmiljøet som løsningen skal indgå i og interagere med. Systemet kan være specifikt udstyr eller en komplet linje. Heri indgår de parametre der ikke er direkte påvirkelige af løsningsrummet. Her omfattes investeringsomkostninger for fremskaffelsen af det resterende produktions- og håndteringsudstyr. Derudover indgår løn- og materialeomkostninger forbundet med produktionen og omkostninger forbundet med lager. Yderligere kræves en række operationelle parametre såsom arbejdsbelastning, medarbejderstab, arbejdstid, pladskapacitet samt forsyningstiden for systemleverancer.

Usikkerhed omhandler parametre i løsningsrummet eller konteksten, hvor en vis uvished eller varians er til stede, som kan dækkes af et sæt scenarier eller et spændrum der afviger fra det nominelle. Det praktiske ræsonnement for inddragelse af usikkerhed er at evalueringen omhandler fremtiden som kan være svær at forudsige, hvis ikke umulig. For at styrke beslutningsrationalet for løsningsudvælgelsen, som er bundet af den tilgængelige information på det pågældende evalueringstidspunkt, er det nødvendigt at øge det mulige udfaldsrum udover det umiddelbart forventelige for at styrke validiteten. Det mest kritiske at tage højde for er et usikkert aftræk, for derved at indfange langtidspotentialerne

af rekonfigurerbarhed. Det omfatter varietet, introduktionstidspunkt, livscyklus, ordrestørrelse, samt fluktueringsmønstre i aftrækket over tid. Herudover kan det også være relevant at inddrage usikker ressource-tilgængelighed og materiale-forsyning som har ændret sig i nyere tid på tværs af industrier.

Gevinsten omhandler de økonomiske og operationelle parametre løsningerne skal evalueres på og tager udgangspunkt i opstillede potentialer. De økonomiske parametre omfatter typisk (i) kapitale investeringsomkostninger for produktionssystemet og moduler, (ii) operationelle omkostninger som følge af ikke-belagt produktionskapacitet, rekonfigurationer og vedligeholdelse, og (iii) indtjening som følge af hurtigere tid til markedet. Operationelle parametre kan blandt andet omfatte udnyttelse af produktionskapacitet og produktionslevetid. Uanset valget af parametre, anbefales det at anvende tilbagediskontering til nutidsværdi og forskelsberegning på resultaterne imellem løsninger.

I princippet kan man sammensætte og konstruere økonomiske modeller ud fra disse principper på mange forskellige måder. I denne bog præsenteres to eksempler på sådanne modeller: en simpel beregningsmodel (business case værktøj) som tilsigtes trin 1 i REKON-metoden, samt en mere detaljeret beregningsmodel (detaljeret model for økonomisk evaluering af rekonfigurerbare designs) som tilsigtes trin 3 i REKON-metoden. Begge er beskrevet i de tilhørende kapitler for henholdsvis aktivitet 1.3 og aktivitet 3.2. Begge disse modeller bygger på de fire principper berørt ovenfor: løsning, kontekst, usikkerhed og gevinst – men på forskellige detaljeringsniveauer. I den detaljerede model kendes systemarkitekturen, dvs. man kan specificere omkostninger, osv. på modulniveau, mens den simple model i højere grad ser systemet som en black-box. I princippet kan man også sagtens bruge den simple model i evalueringsaktiviteten i trin 2 (aktivitet 2.5), men her anbefales brug af værktøjet til rangeringshierarki og matrix. Fordelen ved at bruge dette i trin 2 er at man kan lave både en kvalitativ vurdering af økonomiske og tekniske aspekter, som oftest er nødvendigt i konceptevaluering.

## Teknisk evaluering af rekonfigurerbar produktion

I denne bog dækker ordet teknisk evaluering over en række aspekter, hvoraf mange allerede evalueres og simuleres i traditionel produktionsudvikling. Ofte vil man evaluere og simulere blandt andet procesflow, omstillingstid, cyklustider, ergonomi, operatørbevægelse, performance af specifikke processer, mv. Disse såkaldte tekniske aspekter af produktionssystemet kræver evaluering og verificering – uanset om det er et traditionelt dedikeret produktionssystem eller et modulært produktionssystem.

Specifikt for det rekonfigurerbare produktionssystem, vil simuleringen af produktionen være yderst nyttigt fordi systemet netop ændrer sig dynamisk over tid. Her er discrete event simulering anvendeligt og vil have følgende fordele:

- Mulighed for at lave analyser af produktionssystemet og den konfiguration som er i drift (trin 4). Herved kan man identificere flaskehalse og finde evt. nye behov for rekonfigurationer for at imødekomme behovet på den mest optimale måde. Man kan ligeledes teste nye konfigurationer før de sættes i drift.
- Mulighed for at teste og evaluere flere mulige designs (trin 2 og 3). Herved kan man verificere og udvælge designs baseret på mange forskellige kriterier.
- Øge tilliden til at et rekonfigurerbart produktionssystem er en god ide (trin 1), f.eks. ved at lave en simulering af et modulært system kontra et dedikeret system.

Hvis man som virksomhed ønsker at opbygge en simuleringsmodel til at understøtte udviklingen og udnyttelsen af det rekonfigurerbare produktionssystem, findes der mange gængse typer af software som kan bruges. Valg og brug af et specifikt software er afhængigt af tilgængelighed, pris, og krav til ressourcer i virksomheden. Derfor anbefales ikke ét specifikt software i denne bog, men i appendiks 4.3 kan man finde en oversigt og sammenligning af nogle tilgængelige typer software til simulering af det rekonfigurerbare produktionssystem. I REKON-metoden anbefales det i særdeleshed at anvende simulering i trin 4 og specifikt i aktivitet 4.3. Derudover kan det dog også være fordelagtigt at anvende simulering i både trin 2 og 3.

## Case:

# Rekonfigurerbart produktionsudstyr øger omstillingsparathed af det globale produ- ktionsnetværk Vestas Wind Systems A/S



Vestas Wind Systems A/S (herefter Vestas) indgår i hård konkurrence på omkostninger per megawatt, som skaber et kapløb om hurtigere introduktion af endnu større vindmøller. Markedet er globalt, både på land og vand, og kræver skræddersyede vindmøller til forskellige vind- og miljømæssige forhold, hvilket yderligere øger varians i produktporteføljen. Derudover øges presset for lokaliseret produktion, som følge af krav fra kunderne samt stigende omkostninger og restriktioner for transporten. For at imødekomme efterspørgslen og disse krav, er det nødvendigt med kontinuerlig tilpasning af produktionsmikset på tværs af interne og eksterne fabrikker i det globale produktionsnetværk. Som konsekvens af dette, er der behov for en stigende omstillingsrate af kapitalintensivt produktionsudstyr, der kræver hyppige geninvesteringer med den nuværende dedikerede tilgang til produktionsudvikling.

Igennem REKON-projektet har Vestas haft fokus på at afklare behov for rekonfigurerbarhed (trin 1), designe modulært produktionsudstyr, samt evaluere forretningspotentialer i de genererede designs (trin 2). Afklaring af behov for rekonfigurerbarhed skete med fokus på kortlægning af såvel historiske ændringer som forventede fremtidige ændringer af produktkomponenternes dimensioner og evnen til at håndtere disse ændringer i fabrikkerne. Dette gav en indsigt i potentialet for genbrug af udstyr, samt overblik over geninvesteringsomkostninger i produktionsudstyr. Den efterfølgende design-fase fokuserede på at nedbryde produktionsudstyrets opbygning i en modulær arkitektur med hensyn til både funktionskrav og begrænsninger i værdikæden. Herefter stod man med et konceptuelt design af rekonfigurerbart produktionsudstyr, som bygger på en modulær tankegang. Selvom der blev foretaget en konkluderende teknisk evaluering af det udvalgte design, hvor fokus var på at validere systemarkitekturen og optimere rekonfigureringsprocessen, blev der foretaget økonomisk evaluering løbende gennem udviklingsprocessen. Her var fokus på at beregne kapitale og operationelle omkostninger for det globale produktionsnetværk, som muliggjorde udvælgelse af et design til en ny komponentfamilie på et oplyst grundlag.

## Case:

# Simulering hjælper fremtidens vertikale landbrug i Ljuskårda AB med effektivt at skalere produktion

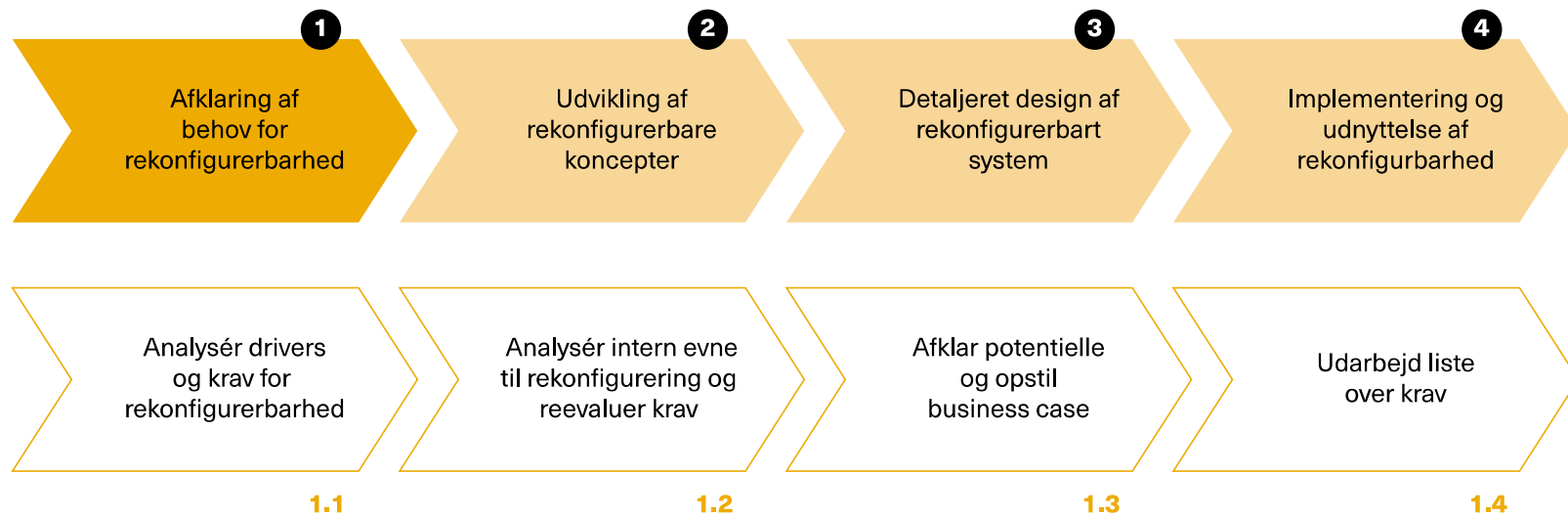


I en mindre by i det sydlige Sverige ligger et landbrug, som ved første øjekast bryder med traditionelle forestillinger om hvordan man dyrker afgrøder. Ljuskårda AB (herefter Ljuskårda) er et eksempel på fremtidens landbrug, hvor alt dyrkning foregår indendørs og er nøglen til virksomhedens vision om at gøre Sverige selvforsynende med frisk salat inden 2025. At opnå dette kræver naturligvis fokus på at forbedre og løbende opskalere produktionskapaciteten. En effektiv opskalering af produktionskapaciteten er dog ikke en simpel problemstilling, da det kræver viden om hvor og hvordan denne opskalering skal påbegyndes for at få størst mulig effekt. Til at hjælpe med dette har virksomheden gennem REKON-projektet undersøgt muligheden for at anvende principperne bag rekonfigurerbar produktion til at opnå bedre skalerbarhed og omstillingsparathed i deres produktion.

Selvom dyrkning af grøntsager kan lyde simpelt, er produktionssystemet komplekst og en detaljeret simuleringssmodel af det eksisterende produktionssystem blev derfor opbygget. Modellen blev bygget i Siemens' Tecnomatix Plant Simulation software. Gennem flere skalerbarheds-analyser blev flaskehalsen i systemet identificeret. Resultatet af analyserne viste, at ved blot at tilføje yderligere to pakkemaskiner på produktionslinjen kunne produktionskapaciteten øges med 40%. Udover at identificere flaskehalsen i systemet gav simuleringerne også anledning til at finde veje til forbedret skalerbarhed på såvel kortere som længere sigt. Disse analyser foretaget i Ljuskårda minder meget om den form for evaluering som typisk vil foretages gennem simulering i trin 4 i REKON-metoden.

## Kapitel 6

# Trin 1: Afklaring af behov for rekonfigurerbarhed



Figur 6.1. Aktiviteter i trin 1 i REKON-metoden.



Det første trin i REKON-metoden omhandler afklaring af behovet for rekonfigurerbarhed. Dette trin undersøger for det første hvorvidt omstillingsparathed og rekonfigurerbarhed er relevant og værdifuldt for en virksomhed. For det andet undersøges der i dette trin hvilke specifikke krav der er til rekonfigurerbarhed i virksomheden og dens produktion. Dette trin er vigtigt, da behovet for rekonfigurerbarhed i et produktionssystem afhænger af virksomhedsspecifikke "drivers", såsom markedskrav, produktportefølje, kundeefterspørgsel, samt forskellige strategiske mål i produktionen. Derudover er trin 1 i REKON-metoden et kritisk første trin fordi:

- Ikke alle virksomheder, produktionslinjer eller arbejdsstationer har behov for rekonfigurerbarhed i samme omfang: Behovet for rekonfigurerbarhed vil være forskelligt for hver enkelt case, afhængigt af branche, markedskrav og specifikke udfordringer. F.eks. kan en virksomhed, der sælger kundetilpassede produkter og oplever en stigning i produktudbud og markedssikkerhed, være mere interesseret end andre virksomheder i at nå højere niveauer af rekonfigurerbarhed i produktionen.
- Relevante produktionsstadier hvor rekonfigurerbarhed er nødvendigt skal identificeres: Dette skal gøres med udgangspunkt i den specifikke variation – i form af forskellige opgaver, værktøjer og generelle krav – som produktionsstadierne står over for. Yderligere skal man tage stilling til eksisterende muligheder og ydeevne af produktionen.
- Potentialerne for rekonfigurerbarhed skal undersøges og kortlægges: Dette udmøntes oftest i etablering af en business case, som klarlægger og kvantificerer potentialerne for at øge og udvikle en rekonfigurerbar produktion.

For at understøtte dette, indeholder trin 1 i REKON-metoden fire aktiviteter, som ses i figur 6.1.

## Aktivitet 1.1: Analysér drivers og krav for rekonfigurerbarhed

Med denne aktivitet bliver såkaldte "drivers" for omstillingsparathed og ændringer undersøgt, analyseret og konverteret til krav for rekonfigurerbarhed. Denne aktivitet muliggør en afklaring af i hvilket omfang rekonfigurerbarhed er nødvendigt i en specifik virksomhed og for en specifik gruppe eller familie af produkter eller komponenter. En driver er i denne sammenhæng enhver faktor, især relateret til produktudvikling, som vil forårsage eller kræve ændringer i et eller flere produktionssystemer. Hvis f.eks. en produktudvikler arbejder på at erstatte et forurenende materiale med et bæredygtigt materiale i et produkts stykke, vil dette typisk være en driver for ændringer i virksomhedens produktionssystemer. Drivers er med andre ord både interne og eksterne faktorer som på den ene eller anden måde har en påvirkning på virksomhedens produkter og produktion – ikke bare nu, men også i fremtiden. Det betyder også at drivers kan være forskellige over tid og angiver dermed forskellige krav til produktionssystemet i hele dets livscyklus. Generelt er der forskellige kategorier af drivers, der bør overvejes i denne aktivitet:

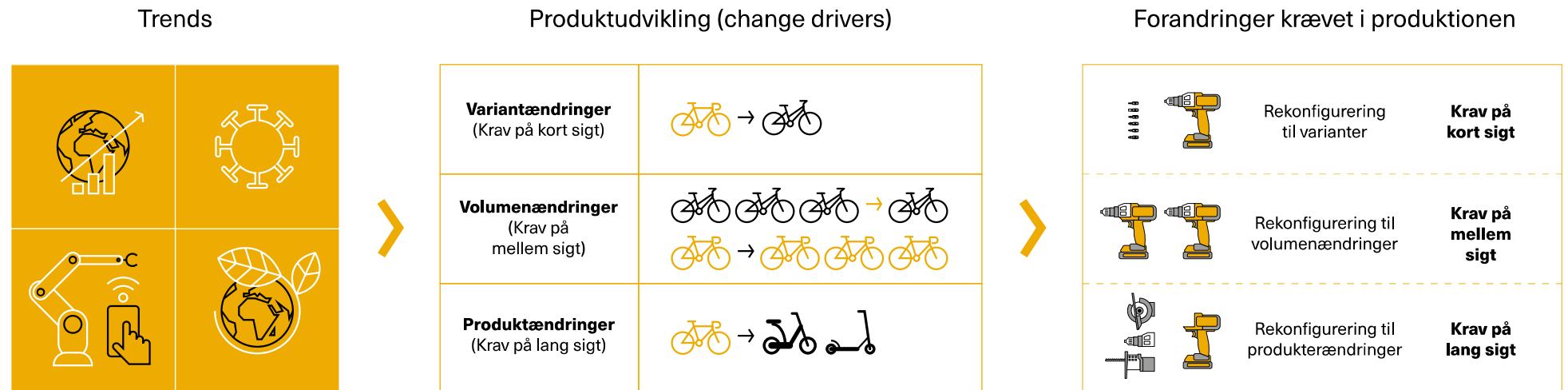
- Produktrelaterede: drivers i denne kategori hører til udviklingen af produkter, f.eks. introduktion af nye materialer, teknologier, produktarkitekturer, osv.
- Teknologirelaterede: drivers i denne kategori kan påvirke både produkt og produktion, f.eks. kan det være nye procesteknologier eller andre nye muligheder for fremstillingen.
- Markedsrelaterede: drivers i denne kategori kan være f.eks. øget kundetilpasning eller individualisering af produkter, nye behov i markedet, samfundsmæssige ændringer, mv.
- Strategirelaterede: drivers i denne kategori er typisk virksomhedsdrevne og påvirker f.eks. hvilke tilbud en virksomhed har til forskellige markeder, outsourcing, lokationsbeslutninger osv.

Der findes utallige drivers som kan påvirke produktionen og omsættes til specifikke krav for rekonfigurerbarhed. Der kan også sagtens være overlap mellem kategorierne for nogle typer af virksomhedsspecifikke drivers. Overordnet set er det derfor yderst vigtigt at undersøge og identificere disse, for dernæst at forbinde dem til kravene for rekonfigurerbarhed. For at forenkle identifikationen af drivers giver det mening at indsnævre omfanget til én eller flere produktfamilier. Når de er blevet identificeret, skal de forbindes med krav til rekonfigurerbarhed:

- Variantændringskrav: Typisk kortsigtede ændringskrav, hvor produktionen skal ændres fra en produktvariant til en anden.

- Volumenændringskrav: Typisk mellem- til langsigtede ændringskrav i produktionen, hvor produktionskapaciteten skal øges eller reduceres, enten permanent eller periodisk.
- Produktændringskrav: Typisk langsigtede ændringskrav, hvor produktionen skal ændres fra et produkt til et andet.

Den første aktivitet i trin 1 sikrer altså at man får screenet eksterne og interne faktorer i virksomheden og får oversat disse til reelle krav til rekonfigurerbarhed (figur 6.2.). Det essentielle i denne aktivitet ligger i at man får kortlagt ikke bare kravene til produktionen lige nu, men også fremtidige krav hertil. For at gøre dette, kan man anvende REKON-værktøjet til screening af krav for rekonfigurerbarhed.



**Figur 6.2.** Sammenhængen mellem virksomhedens kontekst, change drivers og krav til rekonfigurerbarhed.

## Screeningsværktøj for rekonfigurerbarhedskrav

Et værktøj til automatisk visualisering af de kort-, mellem- og langsigtede krav til rekonfigurerbarhed i produktionssystemerne. Værktøjet består af et Excel-spørgeskema, bestående af 33 spørgsmål der dækker aspekter relateret til forskellige change drivers og potentielle virkninger på produktionen. Ved at udfylde spørgeskemaet har respondenter mulighed for at differentiere svarene for udvalgte områder i produktionen, kortlægge krav nu og i fremtiden, samt forudså behovet for rekonfigurerbarhed. Det anbefales at spørgeskemaet bruges som baggrund for diskussion om krav til ændringer i produktionen nu og i fremtiden, samt at man udvælger en eller flere produktfamilier som baggrund for analysen.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 1.2: Analysér intern evne til rekonfigurering og re-evaluer krav

Denne aktivitet i REKON-metoden afhænger af, hvorvidt der sigtes mod at udvikle et helt nyt produktionssystem fra bunden eller om der tages udgangspunkt i allerede eksisterende udstyr og linjer. Hvis en virksomhed er i gang med at udvikle et produktionssystem til en helt ny produktfamilie og ikke kan anvende eksisterende udstyr (et såkaldt Greenfield projekt) vil denne aktivitet ikke være nødvendig at udføre. Hvis en virksomhed derimod enten har potentiale for at udnytte eksisterende udstyr eller har behov for at øge omstillingsparathed af eksisterende systemer (et såkaldt Brownfield projekt), vil denne aktivitet være nødvendig at udføre. I sidste tilfælde, vil denne aktivitet hjælpe med at undersøge eksisterende produktionssystemers kapaciteter. Dette gøres for at vurdere eksisterende niveau af rekonfigurerbarhed, som derefter kan sammenlignes med kravene identificeret i aktivitet 1.1. Med udgangspunkt i udvalgte produktfamilier, giver denne aktivitet altså mulighed for at specificere de steder i produktionen, hvor øget rekonfigurerbarhed er nødvendigt og kan derved skabe grundlag for at forfine og re-evaluere kravene. Denne aktivitet kræver - for de udvalgte produktionsstadier - en vurdering og kvantificering af den eksisterende rekonfigurerbarhed. Dette kan gøres ved hjælp af REKON-værktøjet til screening og vurdering af produktionens rekonfigurerbarhed.

## Screeningsværktøj for vurdering af produktionens rekonfigurerbarhed

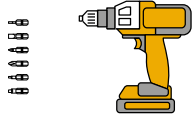
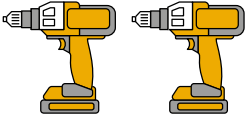
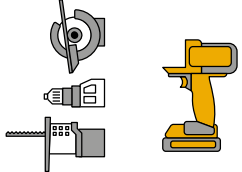
Et værktøj til at vurdere det aktuelle niveau af rekonfigurerbarhed i produktionen. Screeningen tager udgangspunkt i et specifikt udvalgt område af produktionen, i overensstemmelse med de produkter der blev undersøgt i aktivitet 2.1. Gennem en række spørgsmål som er opbygget som et Excel-værktøj, kan man som virksomhed få en vurdering og visualisering af hvor rekonfigurerbar man er.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 1.3: Afklar potentialer og opstil business case

Med denne aktivitet afklares potentialer for rekonfigurerbarhed og en business case opstilles. Typisk er det nødvendigt at begrunde investeringerne og udviklingsindsatsen for enten at øge eller udvikle rekonfigurerbarhed i produktionen, hvilket indebærer kvantificering af forventede omkostninger og fordele. Selve den økonomiske evaluering går igen i flere trin i REKON-metoden, som beskrevet i kapitel 5. Specifikt for trin 1 er usikkerhedsniveauet omkring mange beslutningsvariable højt og designet endnu ikke kendt. Derfor vil det typisk være vigtigst at kortlægge nogle af de overordnede fordele man forventer ved at øge niveauet af rekonfigurerbarhed (såsom effektivitet, omstillingstid, antal varianter man kan producere, investeringer, volumen, osv.) og sammenholde det med omkostningerne. I figur 6.3. ses et eksempel på en sammenligning af en dedikeret løsning og modulær løsning, samt kvantificering af forskellige fordele.

## Krav til rekonfigurerbarhed for produktionssystemer

	Rekonfigurering til variant- ændringer	<b>KRAV PÅ KORT SIGT</b>
	Rekonfigurering til volumen- ændringer	<b>KRAV PÅ MELLEM SIGT</b>
	Rekonfigurering til produkt- ændringer	<b>KRAV PÅ LANG SIGT</b>



## Potentiale ved rekonfigurerbare løsninger sammenlignet med andre løsninger

<b>Omkostninger vs. fordele</b>	Omstillingstid Omstillingsomkostning Produktionsordrestørrelse Produktvarianter
<b>Omkostninger vs. fordele</b>	Kapacitetsudnyttelse Genbrug af udstyr og løsninger
<b>Omkostninger vs. fordele</b>	Time-to-market Omkostninger ved produktintroduktion

**Figur 6.3.** Overordnede potentialer ved at gå fra en dedikeret løsning til modulær og rekonfigurerbar løsning.

Udover en kortlægning af potentialerne, kan man i denne aktivitet bruge REKON-værktøjet til at opstille en indledende business case.

## Business case værktøj

Et værktøj beregnet til kvantitativ økonomisk evaluering af potentialer gennem en simpel Excel-baseret beregningsmodel. Modellen kan sammenligne og evaluere den totale omkostning af et produktionssetup, f.eks. sammenligne et dedikeret setup med et modulært setup. Modellen kræver input ift. karakteristika af de produktionssetup der evalueres, input ift. aftræk og usikkerhed, og genererer en tilbagediskonteret nutidsværdi af kapital- og operationelle omkostninger. Modellen benytter desuden Monte Carlo-simulering for at håndtere usikkerhed i aftrækket. Man vil med fordel kunne benytte business case værktøjet i både denne aktivitet i trin 1, samt i aktivitet 2.5. i trin 2.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 1.4: Udarbejd liste over krav

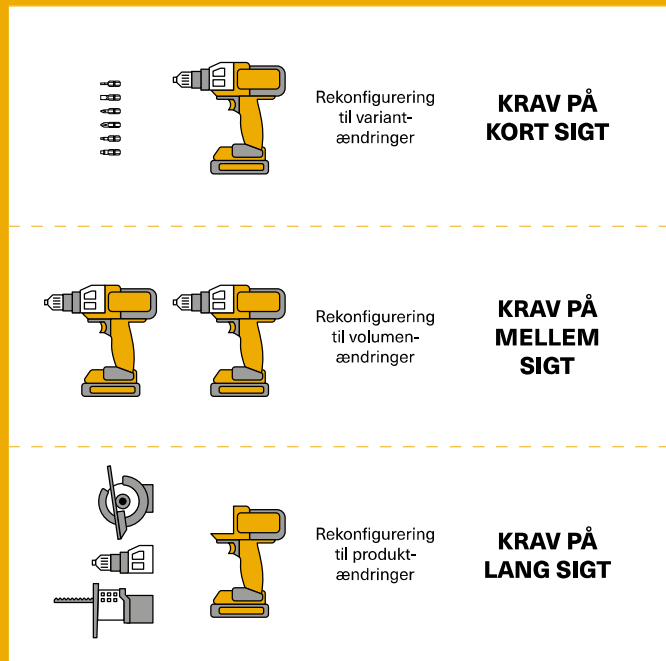
Med denne sidste aktivitet i trin 1 udarbejdes en liste over økonomiske og tekniske krav til det nye rekonfigurerbare produktionssystem eller udstyr. Her er det vigtigt at få listet krav som netop knytter sig til det specifikke behov for rekonfigurerbarhed, hvilket er eksemplificeret i figur 6.4. Disse krav skal danne grundlaget for at designe og evaluere koncepter og detaljeret design i senere trin.

## Eksempel på liste af krav til design af rekonfigurerbarhed

Som eksempel på en liste af krav til rekonfigurerbarhed, findes i bogens appendiks et overblik over nogle mulige tekniske og økonomiske krav man bør overveje.

>> Læs mere om eksemplet i bogens appendiks.

## Forandringer krævet i produktionen



## Nuværende rekonfigurerbarhed

Green field

vs

Brown field

## Økonomiske krav

### Produkt

**Produkt:**  
• Omkostning ved eksisterende variation

**Produkt:**  
• Omkostninger ved ændring af volumen

**Produkt:**  
• Introduktionsomkostninger  
• Omkostninger ved udvidelse af variation

### Produktion

**Udstyr:**  
• Omkostning for omstilling

**Systemer og faciliteter:**  
• Oplæringsomkostninger  
• Rekonfigureringsomkostning for udstyr  
• Skalérbarhedsomkostninger  
• Facilitetsomkostninger

**Systemer og faciliteter:**  
• Designomkostninger for yderligere moduler  
• Oplæringsomkostninger  
• Rekonfigureringsomkostninger  
• Facilitetsomkostninger

## Tekniske krav

### Produkt

**Produkt:**  
• Antal produktvarianter

**Produkt:**  
• Forventet produktionsvolumen per variant

**Produkt:**  
• Time to market  
• Inspektionstid  
• Tid for korrigerende arbejde

### Produktion

**Machine:**  
• Omstillingstid  
• Produktionsordre størrelse

**Systems and sites:**  
• Udnyttelsesgrad af værktøjer  
• Udnyttelsesgrad af udstyr  
• Udnyttelsesgrad af faciliteter  
• Oplæringstid  
• Rekonfigureringstid for udstyr

**Systems and sites:**  
• Rekonfigureringstid  
• Ramp-up tid

**Figur 6.4.** Eksempler på økonomiske og tekniske krav, som knytter sig til produktionens rekonfigurerbarhed.

## Case:

# Identifikation af potentialer for rekonfigurerbarhed og indsatsområder hos Dan-Foam ApS



Dan-Foam ApS (herefter Dan-Foam) er Danmarks største madrassvirksomhed, som udvikler og producerer produkter for Tempur. Virksomheden producerer premium madrasser, justerbare bunde, puder og andre soveprodukter. Som mange andre virksomheder oplever Dan-Foam et stigende behov for produktvariation. Rune Kjær Holtzmann, som er Production Support & Continuous Improvement Manager hos Dan-Foam, fortæller: "Det vil helt klart være en fordel for os, at vores produktion er fleksibel og modulbaseret så vi kan tilpasse den til behovene i fremtiden".

Udviklingen i virksomhedens produktportefølje – og den øgede kompleksitet og mangfoldighed af denne – gjorde det nødvendigt at overveje, hvordan produktionen kunne forbedres til at imødekomme disse ændringer. Selvom det var nemt for virksomheden at udpege madrasser som den relevante produktfamilie, gjorde kompleksiteten i produktionsprocessen det uoverskueligt at danne sig et overblik over hvordan beslutninger i produktudviklingsfasen påvirker produktionen. Derfor gik virksomheden i gang med første trin i REKON-metoden.

Med udgangspunkt i madrass-produktfamilien anvendte virksomheden, i samarbejde med forskere i REKON, screeningsværktøjet for rekonfigurerbarhedskrav til at analysere change drivers over forskellige tidshorisonter og fastlægge krav til rekonfigurerbarhed i produktionen. Analysen af kort-, mellem- og langsigtede rekonfigurerbarhedskrav til produktionen viste at specielt kort- og mellemsigtede krav med hensyn til variant- og volumenændringer skaber behov for rekonfigurerbarhed i virksomhedens produktion. Denne indsigt har gjort Dan-Foam i stand til at fokusere på omstillinger (på kort sigt) og kapacitetstilpasning (på mellemlang sigt) som kritiske indsatsområder i produktionen. Denne indsigt gjorde det endvidere muligt at undersøge hvor i produktionen en øget rekonfigurerbarhed – altså forbedrede omstillinger og øget evne til kapacitetstilpasning – vil skabe værdi.

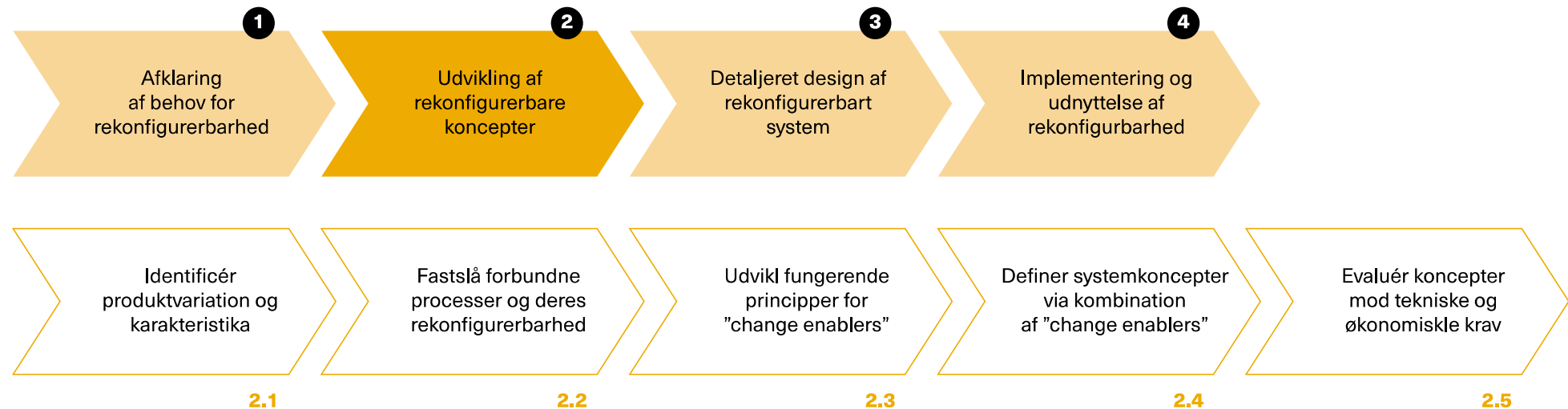
I samarbejde med en teknologileverandør udviklede Dan-Foam et koncept for en ny rekonfigurerbar produktionslinje, som med brug af standardmoduler gjorde det muligt at reducere omstillinger, tilpasse produktionsvolumen til forskellige niveauer af efterspørgsel og tilmed erstatte to eksisterende produktionslinjer.

## Kapitel 7

# Trin 2: Udvikling af rekonfigurerbare koncepter

På baggrund af kravene til, samt potentialet for, at øge rekonfigurerbarheden af produktionssystemet fundet gennem trin 1, fokuserer trin 2 i REKON-metoden på at etablere og evaluere forskellige koncepter for at imødekomme dette. Processen til dette afdækkes igennem de fem overordnede aktiviteter i trin 2, som er illustreret i figur 7.1.

Efter at have gennemgået disse fem aktiviteter vil man som virksomhed have bestemt det konkrete behov for øget rekonfigurerbarhed, samt genereret og evalueret det bedste konceptuelle design til at opnå dette. Her er det relevant at være opmærksom på forskelle og ligheder i udviklingsprocessen afhængigt af, om der er tale om udvikling af et nyt produktionssystem (Greenfield) eller ændring af et eksisterende system (Brownfield). Aktiviteterne man gennemgår, er som udgangspunkt ens på tværs af de to scenarier. Forskellen findes i, at der for Greenfield produktionsudvikling er en højere grad af frihed i generering af designkoncepter, da man ikke har eksisterende systemer at tage hensyn til. Omvendt vil man i Brownfield produktionsudvikling være begrænset af historiske designvalg for produktionssystemet, hvilket begrænser de mulige designkoncepter.



Figur 7.1. Aktiviteter i trin 2 i REKON-metoden.



## Aktivitet 2.1: Identificér produktvariation og karakteristika

Når først der er etableret en indledende indikation af kravene og potentialet for at udvikle og øge rekonfigurerbarheden i et produktionssystem (trin 1), kan man rette fokus på hvor i systemet og processerne der specifikt er behov for at forbedre og imødekomme dette. Dette gøres ved først at undersøge de produkter man producerer i produktionssystemet og undersøge hvordan de adskiller sig fra hinanden. Hertil kan man bruge en produkt variant master.

En sådan undersøgelse af produktkarakteristika og kundernes ønske om differentiering skal relateres til hvorvidt man er i stand til at producere dette effektivt. Samtidigt giver en indsigt i det modsatte, altså hvilke produktkarakteristika kunderne ikke værdsætter differentiering af, også værdi for systemdesigneren. I sådanne tilfælde vil man potentielt kunne investere i mere dedikeret udstyr, oftest til en lavere omkostning og med højere effektivitet.

### Produkt variant master

En simpel grafisk måde at visualisere produktstrukturer på. Består af to elementer: et "part-of" hierarki og et "kind-of" hierarki, som henholdsvis illustrerer den generiske produktstruktur i en produktfamilie, inklusive moduler og komponenter, samt hvilke varianter disse elementer findes i. Dette gør det nemmere at danne overblik over variation og standardisering af komponenter og moduler i en produktfamilie.

*Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.*

## Aktivitet 2.2: Bestem interfaces mellem produkt og proces

Efter at have analyseret produktvariation kan blikket rettes mod produktionssiden, mere specifikt processerne og deres kapaciteter ift. hvilken produktvariation de effektivt kan imødekomme. Viden om hvad produktionssystemet kan og ikke kan, set ift. de produkter der ønskes produceret, er essentiel når man står overfor at skulle bestemme hvordan en forbedringsindsats vil give mest effekt. I praksis kan dette afklares ved først at kortlægge de produktionsprocesser, som produkterne i den undersøgte produktfamilie gennemgår. Herefter vil man, som

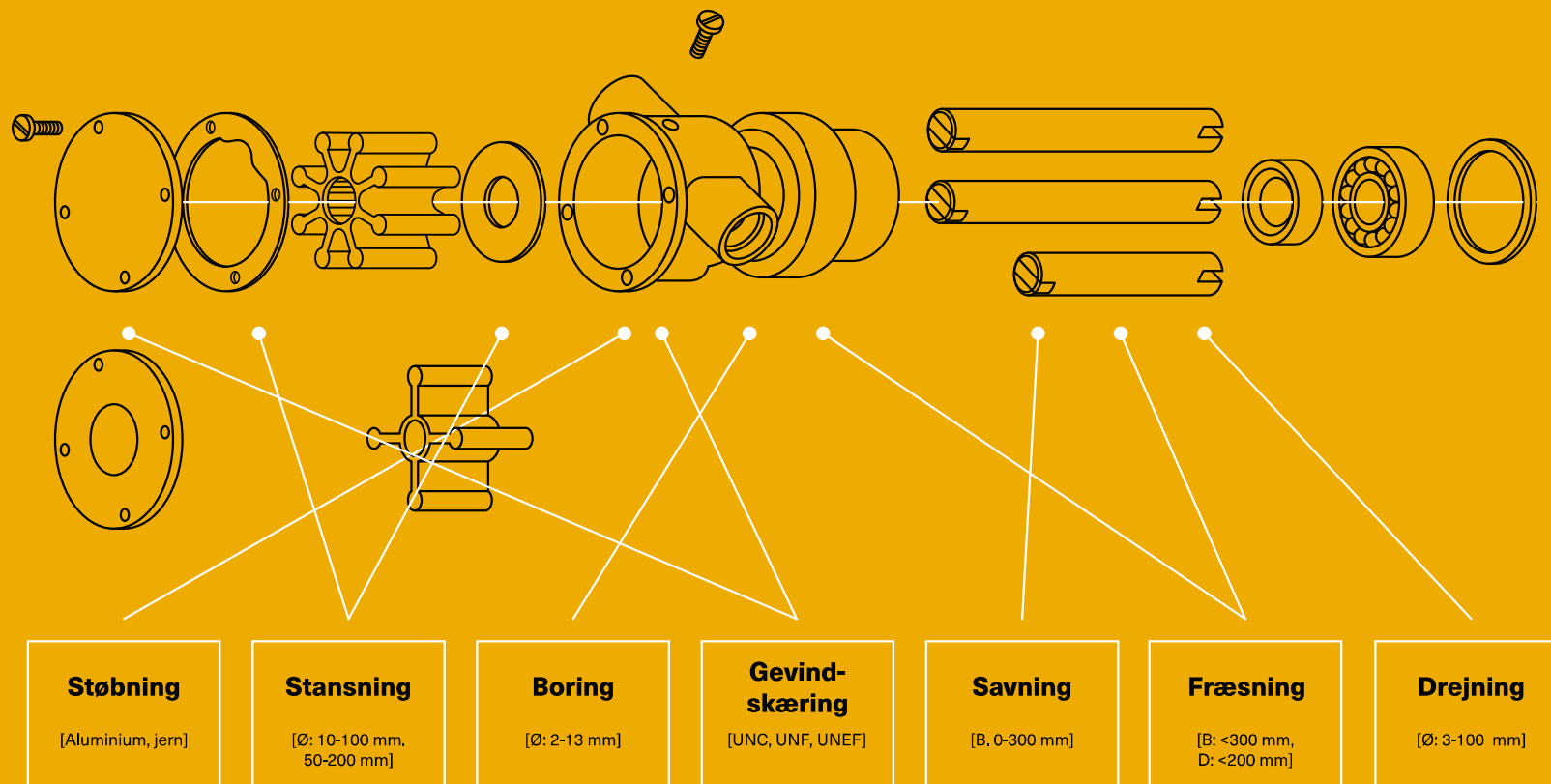
illustreret i figur 7.2, kunne foretage en kortlægning mellem de produktkarakteristika der blev identificeret i aktivitet 2.1 og de produktionsprocesser som relaterer sig til disse karakteristika.

En sådan kortlægning vil give indsigt i de kritiske interfaces mellem produktvarianter og produktionsprocesser. Derudover vil den give et indblik i hvorvidt krav til produktionsprocesserne, som stilles fra produkterne, kan imødekommes af processerne. Dette gælder for den eksisterende produktvariation, men i endnu højere grad for den forventede udvikling i produkternes funktioner og variation. Eventuelle uoverensstemmelser mellem produktkrav og proceskapaciteter vil indikere hvor produktionsforbedringer med fordel kan foretages. for at fremtidssikre produktionen. Graden af uoverensstemmelser mellem krav og kapaciteter i processerne vil samtidigt give en indikation af, hvorvidt det er relevant at fokusere på at øge fleksibiliteten eller rekonfigurerbarheden af disse. Dette vil igen have stor betydning for senere valg af tekniske løsninger. Oversigten over processernes kapaciteter vil ydermere give en indsigt i eventuelle processer, hvor dedikerede løsninger kunne være fordelagtige. Til at gøre dette kan man anvende REKON-værktøjet changeability mapping. Dette værktøj kan bruges til netop at danne et overblik over processernes kapaciteter og eventuelle mangler og dermed skabe en bedre forudsætning for at kunne påbegynde udvikling af koncepter til det rekonfigurerbare produktionssystem.

### Changeability mapping værktøj

En metode i fire trin til at identificere eventuelle manglende omstillingsparathed i et produktionssystem. Dette opnås gennem analyse af vigtige produktkarakteristika, kortlægning af relevante produktionsprocesser, relationerne mellem produktkarakteristika og produktionsprocesser. Changeability mapping værktøjet giver et overblik over, hvor proceskapaciteterne ikke lever op til behovet bestemt af eksisterende og forventet fremtidig produktvariation. Dette danner grundlag for at identificere hvor i processen at dedikerede, fleksible og rekonfigurerbare løsninger vil være at foretrække.

**>>** *Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.*



**Figur 7.2.** Et eksempel på hvordan komponenter i et produkt har relation til produktionsprocessen samt oversigt over processernes kapabiliteter.

## Aktivitet 2.3: Vælg teknisk løsning

Design af et systemkoncept kræver at man først har besluttet hvilke tekniske løsninger der vil være mest relevante at benytte til at løse tidligere identificerede behov for øget rekonfigurerbarhed. Da der potentielt findes mange tekniske løsninger, som vil være i stand til at imødekomme et givent behov, må man derfor etablere nogle kriterier, som løsningerne skal vurderes og rangeres ud fra. Traditionelt set vil disse kriterier være af overvejende økonomisk eller teknisk karakter og være mere eller mindre virksomhedsspecifikke. Når man skal udvikle et koncept for det rekonfigurerbare produktionssystem er det relevant også at inddrage kriterier som relaterer sig til designprincipperne for rekonfigurerbare produktionssystemer introduceret i Kapitel 2, som f.eks. behovet for modularitet, skalerbarhed eller konverterbarhed af systemet. Som inspiration til denne aktivitet, som er overvejende kreativ, findes et REKON inspirationskatalog med forskellige tekniske løsninger relateret til forskellige karakteristika for rekonfigurerbarhed.

### Katalog over rekonfigurerbare løsninger

Der findes i dag mange leverandører af fleksibelt og rekonfigurerbart produktionsudstyr – og endnu flere løsningskoncepter. Løsningskataloget kan bruges som inspirationskilde i udviklingsprocessen og giver indblik i forskellige kommercielle og prototype løsninger. Løsningskataloget dækker både hardware og software løsninger på flere systemniveauer.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 2.4: Generér system, interface og modulkoncepter

Når de tekniske løsninger er valgt, kan en mere kreativ proces begynde, hvor fokus er på generering af forskellige systemdesign og modulkoncepter, som forventeligt vil kunne imødekomme behovet for øget rekonfigurerbarhed i produktionssystemet. Sammensætning af forskellige tekniske løsninger til modulkoncepter kan gøres baseret på ekspertviden, men oftest kan det være en fordel at tage udgangspunkt i såkaldte module drivers. Virksomheder kan have forskellige overvejelser ift. hvilke moduldesign der kan understøtte strategiske mål og her kan module drivers være brugbare retningslinjer eller inspirationskilder når man designer modulære produktionssystemer. Tabel 1 beskriver gængse module drivers relateret til design af produktionssystemer. Det er vigtigt at bemærke at de 10 "Module drivers" i tabel 1 ikke er en komplet liste da der kan være yderligere module drivers, som er virksomhedsspecifikke.

Kategori	Module driver	Beskrivelse
Systemudvikling	Geometrisk integration og præcision	For produkter, hvor samling af delkomponenter kræver stor præcision, vil en gruppering af disse i ét modul være en fordel. Derved kan det fintfølede produktionsudstyr isoleres i én proces. Separering af præcisionskrævende komponenter og processer fra almindelige komponenter betyder bl.a. at de ofte højere omkostninger forbundet med højere præcision begrænses til ét eller få moduler i produktionen.
	Funktionsdeling	En produktionsressource, der anvendes af flere produkter, kan være udgangspunkt for at danne et modul. Hvis man kan genbruge en proces eller ressource på tværs af produktvarianter vil man bl.a. kunne opnå højere udnyttelsesgrad af denne ressource.
	Flytbarhed af interfaces	Nogle interfaces mellem produktionsprocesser er mere afhængige af afstanden mellem processerne end andre. F.eks. vil processer, hvor produktet skal holdes ved en bestemt temperatur eller i et bestemt miljø, være fordelagtige at placere sammen i et produktionsmodul. Omvendt vil f.eks. datainterfaces typisk være mindre påvirkelige overfor afstande.
Lokalisering af ændringer	Modul overførbare	Nogle produktfunktioner forventes ikke ændret i fremtidige generationer, hvorfor de tilsvarende produktionsprocesser heller ikke behøver at ændres. Adskilles disse statiske funktioner i et modul, vil det give mulighed for ligeledes at genbruge specifikke produktionsmoduler i fremtiden, hvorved udviklingsomkostninger spares.
	Teknologisk udvikling	Produktfunktioner eller processer forventes ofte ændret som funktion af udvikling af den underliggende teknologi i kommende produktgenerationer. Samles de funktioner, som potentielt påvirkes af denne udvikling, i et modul vil følgevirkningerne i resten af produktionen kunne begrænses til det påvirkede modul.
	Planlagte produktændringer	Produkt eller procesforandringer kan ske bevidst som et resultat af planlagte ændringer. Her vil en isolering af ændringerne afskærme resten af produktionen fra bekostelige ændringer, når nye varianter introduceres eller højere volumen efterspørges.
Variation og standardisering	Fælles enhed	En funktion, som kræves på tværs af flere produkter, vil tillade udvikling af standardmoduler for de tilhørende produktionsprocesser, hvilket bidrager til reducerede udviklingsomkostninger og stordriftsfordele i produktionen.
	Forskellig specifikation	Forskellige produktfunktioner på tværs af produktvarianter kræver bredere proceskapabiliteter i produktionen. Sådanne mere fleksible processer vil med fordel kunne isoleres i moduler, for at begrænse omfanget af påkrævede ændringer i produktionen ved omstilling mellem produktvarianter eller volumen.
Fremstilling af produktionsudstyr	Leverandørkapabiliteter	Processer med højt specialiseret produktionsteknologi, som kun er tilgængelig hos leverandører, kan med fordel isoleres i et produktionsmodul. Ved at begrænse påvirkninger af sådanne specialiserede processer til et produktionsmodul er det muligt at reducere kompleksiteten i produktionssystemet, samt antallet af processer hvor leverandører har udviklingsansvar.
Vedligehold og genbrug	Service og vedligehold	Ved at designe produktionsprocesser, hvor funktioner der typisk vil være sliddele er designet som moduler, vil man kunne foretage hurtig udskiftning af disse fremfor længerevarende nedetid af systemet, mens reparationer foretages.

**Tabel 1:** *Forskellige module drivers som kan bruges som guidelines til udvikling af modulære og rekonfigurerbare produktionssystemer.*

Module drivers bruges også i REKON-værktøjet til generering af modulære koncepter i produktionen, det såkaldte udvidede modular function deployment for produktionen. Når man anvender denne metode, er resultatet et eller flere konceptuelle design af et modulært produktionssystem. Spørgsmålet er da hvilket af disse designs der bedst opfylder de krav der er opstillet til rekonfigurerbarheden af produktionssystemet i trin 1.

## Modular function deployment for produktion

En udvidelse af den anerkendte metode til produktdesign, modular function deployment til produktion (MFDP) fokuserer på, hvordan man gennem fem trin kan designe modulære produktionssystemer der tager højde for produktkrav, strategiske mål for produkter og produktionssystemer, samt evaluerer kvaliteten af de genererede designs.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 2.5: Evaluér koncepter ift. tekniske og økonomiske krav

Alle koncepter er ikke lige egnede og sidste aktivitet i trin 2 af REKON-metoden fokuserer på at evaluere de genererede system- og modulkoncepter. Selvom nogle aspekter af evaluering af et produktionssystem er fælles for modulære og traditionelle produktionssystemer, adskiller de sig også på andre områder. For modulære produktionssystemer er det f.eks. relevant at undersøge hvor komplekse interaktionerne er mellem moduler, for derigennem at vurdere hvor nemt det er at ændre moduldesign eller skifte moduler i systemet. Desuden vil man kunne opsætte koncepter for produktionen som er mere eller mindre rekonfigurerbare, og man vil i den forstand ønske at være i stand til at evaluere graden og typen af rekonfigurerbarhed imod forventede produktændringer i fremtiden, samt usikkerhederne i dette.

I aktivitet 1.3 blev et business case værktøj introduceret. Dette kan med fordel anvendes igen, dog på flere og mere detaljerede koncepter. I nogle tilfælde kan en virksomhed foretrække at tage en kvalitativ frem for kvantitativ tilgang til at foretage denne evaluering. Hvis en kvalitativ tilgang foretrækkes, kan man med

fordel benytte REKON-værktøjet rangeringshierarki og matrix. Med dette værktøj kan man rangere forskellige typer af både økonomiske og tekniske kriterier, baseret på virksomhedens behov. Det bedste koncept for rekonfigurerbarhed afklares herefter ud fra kriterierne med højere rang.

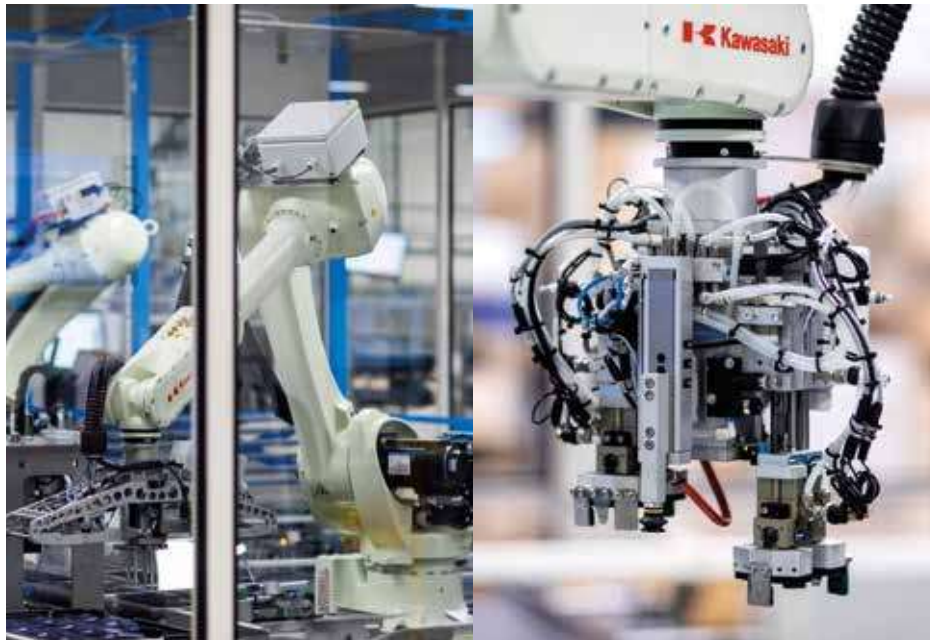
## Rangeringshierarki og matrix

Et værktøj som bruges til kvalitativ økonomisk og teknisk evaluering af koncepter. Værktøjet genererer rangering af koncepter i et hierarki af vægtede generiske kriterier. Dette er relativt hurtigt og anvendeligt, og bygger på eksisterende ekspertviden. For at hjælpe med at udvælge det bedste koncept, anvendes en hierarkisk opstilling af kriterier og parvis rangering af koncepter.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Case:

# Kamstrup A/S kortlægger produktion og produkter for at skabe overblik over produktionskapabiliteter og skabe grundlag for en mere modulær produktion



Kamstrup er verdens førende producent af intelligente måleløsninger til energi- og vand. Kamstrup har hovedkontor i Stilling i Danmark, hvor der også ligger 3 fabrikker – én der primært producerer vandmålere, én der primært producerer varmemålere og én der primært producerer elmålere. Derudover har Kamstrup for nyligt opstartet en fabrik i Atlanta i USA. Totalt set har Kamstrup 1500 medarbejdere fordelt på 23 lande og sælger produkter i mere end 90 lande.

Med en stor vækst i salg, mange produktvarianter og øget uforudsigelighed i aftræk på forskellige varianter, er omstillingsparathed et livsvilkår i Kamstrup. For bedst muligt og mest effektivt at kunne håndtere dette i produktionen, er udnyttelsen af modulære principper en løsning for Kamstrup. Dette indebærer bl.a. et ønske om at kunne udnytte standardmoduler og -udstyr på tværs af produktionslinjer og potentielt på tværs af fabrikker. Dette vil potentielt kunne føre til en øget kapacitetsudnyttelse, øget resiliens i forhold til uforudsigelige ændringer i mix og volumen, samt hurtigere og mindre omkostningsfuld udvikling af udstyr til nye linjer og produkter. Men for at øge genbrug af udstyr og vide hvor modulære løsninger giver mening, er det nødvendigt at skabe et overblik over eksisterende processer og udstyr i produktionen, samt bestemme deres relation til produktvarianter og produktkarakteristika.

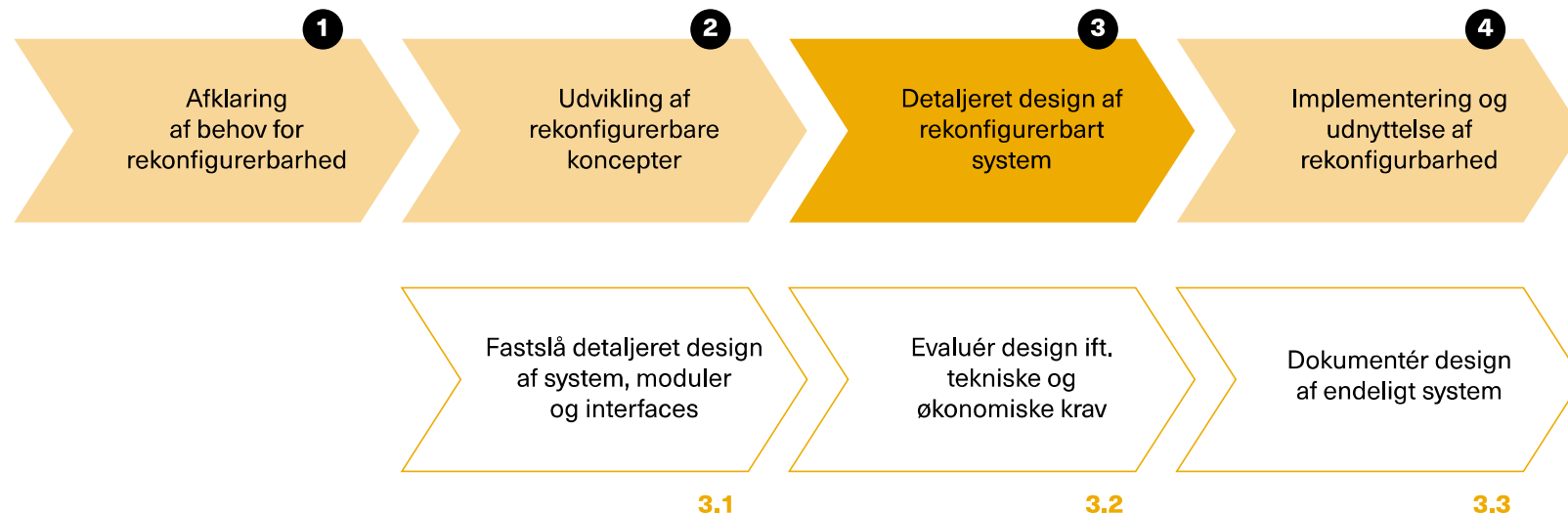
Derfor har man i REKON-pilotprojektet i Kamstrup fokuseret på aktiviteter tilhørende trin 2 i REKON-metoden, herunder identifikation af produktvariation og karakteristika (aktivitet 2.1) og bestemmelse af interfaces mellem produkt og proces (aktivitet 2.2). Til dette formål blev REKON værktøjet "Changeability Mapping Tool" testet på en afgrænset del af en fabrik. Formålet var at undersøge hvordan man bedst muligt kunne skabe et overblik over udstyr, processer og linjer i alle fabrikkerne, samt danne grundlag for at bestemme hvilke produktvarianter der kan produceres hvor og hvilke omstillinger eller rekonfigureringer der er nødvendige. Derudover vil en indsigt i kapabiliteten af hver proces potentielt kunne øge genbrug og danne grundlag for yderligere modularisering i fremtiden. I dag arbejder Kamstrup på at videreudvikle mapping metoden og udvikle netop dén metode som giver størst værdi og er mindst omkostningstung at implementere, udføre og vedligeholde.

## Kapitel 8

# Trin 3: Detaljeret design af det rekonfigurerbare system

På dette stadie i udviklingen af det rekonfigurerbare produktionssystem er det mest lovende koncept blevet fundet. Med andre ord er det nu fastslået hvor rekonfigurerbart systemet skal være, hvordan vi overordnet skal realisere dette, samt hvilke overordnede design parametre der skal anvendes. I trin 3 REKON-metoden fokuseres der på at konvertere dette systemkoncept til et detaljeret design, som kan verificeres i forhold til de tekniske og økonomiske krav der blev stillet i trin 1. Som illustreret i figur 8.1 er der tre aktiviteter i trin 3 i REKON-metoden.

Det er værd at bemærke hvordan der igennem aktivitet 3.3 også tages højde for hvordan genererede system- og moduldesign kan blive genanvendt i fremtidige løsninger, ved at dokumentere disse. Resultatet af aktiviteterne i trin 3 vil være et eller flere verificerede og dokumenterede design, som kan produceres og indbygges i eksisterende eller kommende produktionslinjer i virksomheden og bidrage til et mere rekonfigurerbart produktionssystem.

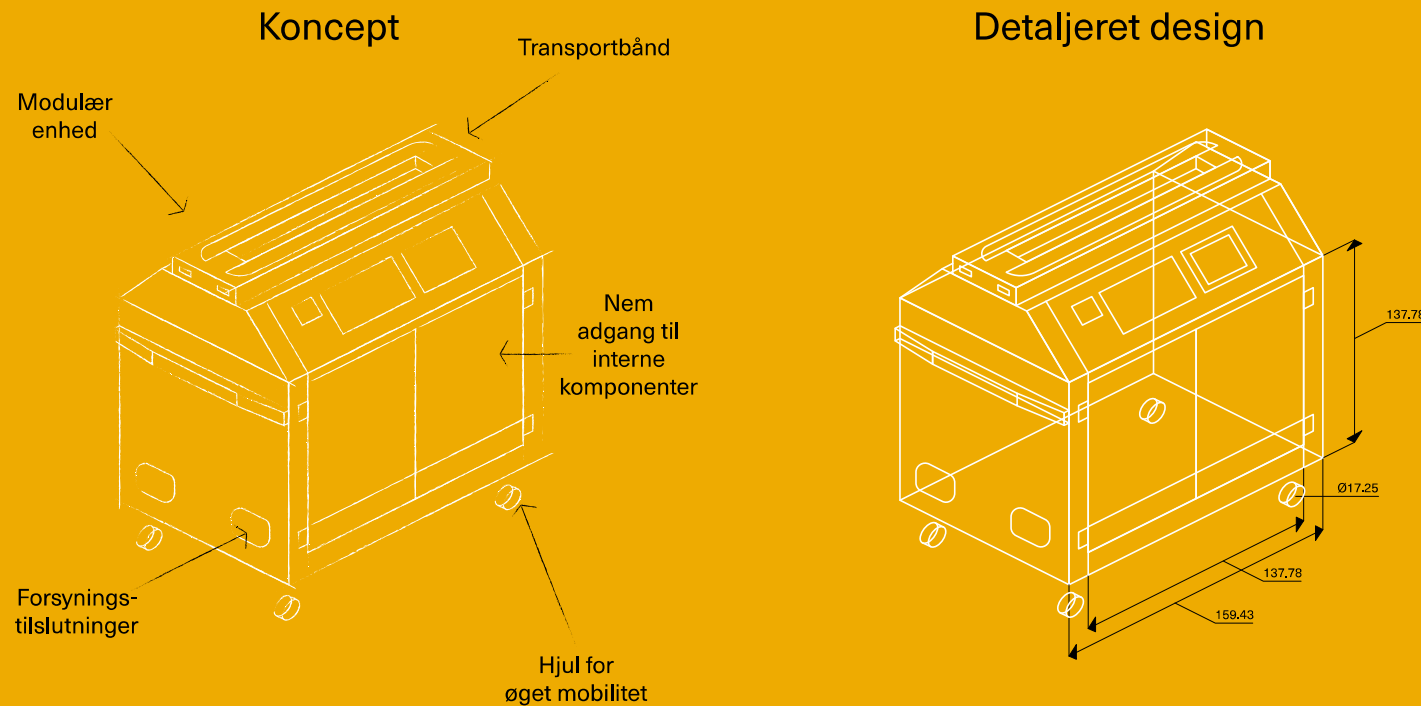


Figur 8.1. Aktiviteter i trin 3 i REKON-metoden.

## Aktivitet 3.1: Fastslå detaljeret design af system, moduler og interfaces

For at kunne realisere et design koncept må dette naturligvis konverteres fra skitser på et stykke papir til præcise CAD-tegninger med specificering af tolerancer og valg af standardkomponenter og interfaces. Dette er illustreret i figur 8.2.

Denne aktivitet er grundlæggende ikke forskellig fra hvordan man vil udføre det detaljerede design af et traditionelt produktionssystem. Når dette er sagt vil der i designprocessen for et rekonfigurerbart produktionssystem være større fokus på at vurdere hvordan konkrete og detaljerede designbeslutninger eventuelt kan påvirke rekonfigurerbarheden af systemet. F.eks. vil et modul designet til at være flytbart med fordel kunne anvende letvægtsmaterialer for at gøre re-lokalisering nemmere. Et modul med fokus på at kunne skifte funktion vil derimod fokusere mere på at anvende simple og hurtige mekanismer til fastgøring, for at reducere omstillingstider. Som et eksempel på et fuldt ud rekonfigurerbart produktionssystem er AAU SmartLab anvendeligt.



Figur 8.2. Fra koncept til detaljeret design.



## AAU SmartLab: Et fuldt ud rekonfigurerbart produktionssystem

I SmartLab laboratoriet på Institut for Materialer og Produktion, Aalborg Universitet, findes det rekonfigurerbare system Smart Lab. SmartLab er designet til at eksemplificere produktion af simple elektroniske elementer – en "dummy" mobiltelefon. SmartLabt er bygget op af standardiserede moduler fra Festo, der hver har transportbånd samt styrings, netværks, elektriske og pneumatiske forbindelser til at understøtte forskelligt produktionsudstyr. Det unikke design gør det bl.a. muligt at flytte på modulerne, ændre i rækkefølge og antal af disse, samt tilpasse funktion ved at ændre hvilket produktionsudstyr, som monteres på modulerne. Med andre ord opfylder SmartLab de karakteristika, som er opstillet for rekonfigurerbare produktionssystemer i Kapitel 2. I tråd med det rekonfigurerbare produktionssystemes adoptering af elementer fra såvel dedikerede som fleksible produktionssystemer, har også SmartLab dedikerede og fleksible elementer på linjen. Som eksempel på førstnævnte findes paletsystemet, som er dedikeret til den specifikke størrelse af produkter der produceres. Derimod er robotcellen fleksibel indenfor den eksisterende produktfamilie.

>> Læs mere om eksemplet i bogens appendiks.

### Aktivitet 3.2: Evaluér design ift. tekniske og økonomiske krav

Når et konkret detaljeret design er udfærdiget er det relevant at evaluere, hvorvidt designet lever op til de overordnede krav, som blev stillet til det konceptuelle design, såvel som mere konkrete tekniske og økonomiske krav. F.eks. kan relevante krav være hvorvidt designet er i stand til at producere alle varianter indenfor en given produktfamilie eller hvorvidt en defineret maksimal omkostning for designet overholdes. Andre former for kriterier kan relatere sig til rekonfigurationer af systemet og den maksimale tid dette eventuelt må tage. Til at hjælpe med at evaluere detaljerede løsninger på baggrund af sådanne kriterier kan man anvende forskellige former for simuleringer, som typisk anvendes i design af udstyr og systemer. Simulering giver mulighed for med en relativt lille investering - sammenlignet med at skulle opføre en ny produktionslinje - at evaluere forskel-

lige systemkonfigurationer eller teste om systemet kan imødekomme forventede udsving i efterspørgsel. Fordelen ved at anvende simulering til at undersøge dette er at der kan svares på dette spørgsmål før man overhovedet har investeret i noget fysisk udstyr til produktionen.

Teknisk evaluering alene er ikke nok, det er som oftest også nødvendigt at lave en detaljeret økonomisk evaluering. Set i forhold til økonomisk evaluering af et rekonfigurerbart produktionssystem er det vigtigt at være opmærksom på de grundlæggende forskelle mellem rekonfigurerbare produktionssystemer og dedikerede produktionssystemer. F.eks. vil anvendelse af en traditionel beregningsmodel til et rekonfigurerbart produktionssystem oftest give et misvisende billede af den økonomiske rentabilitet af denne løsning. F.eks. fordi systemet er designet til at være omstillingsparat til fremtidige produktændringer, der er gjort klar til moduler og interfaces som endnu ikke er i brug, eller man har designet løsninger som kan genbruges på tværs af kommende systemer og fabrikker. Det giver sig selv, at sådanne designs typisk er dyrere og mere omfattende udviklingsmæssigt end en enkelt linje dedikeret til et specifikt nuværende produkt. Derfor er der udviklet specielle investeringsmodeller, som tager højde for et rekonfigurerbart produktionssystemes evne til at blive genbrugt over tid og til forskellige produktvarianter. De generelle principper for dette er beskrevet i kapitel 5.

I kapitel 6, som beskriver trin 1, blev et værktøj til etablering af en business case præsenteret. Dette værktøj, en beregningsmodel som evaluerer operationelle- og kapitale omkostninger relateret til det rekonfigurerbare system, kan i princippet også bruges i trin 2 og trin 3 – dog med flere detaljer og design karakteristika. Der er dog også mulighed for at anvende en mere detaljeret beregningsmodel her i trin 3.

## Detaljeret model for økonomisk evaluering af rekonfigurerbare designs

Dette værktøj består af en mere detaljeret økonomisk model til evaluering af forskellige modulære og rekonfigurerbare designs. Den er beregnet til kvantitativ økonomisk evaluering og kræver specifikation af systemarkitekturen, konfigurationer, og produktionsfunktionalitet. Ydermere kræver den modellering af case- og industrispecifikke forhold og potentialer i produktionsmiljøet. Modellen benytter rullende scenarie optimering for at håndtere kompleksitet og usikkerhed.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

Resultatet af at have evalueret det detaljerede design kan meget vel medføre at der må foretages ændringer i designet, for i højere grad at imødekomme de definerede krav. Derved er et eller flere genbesøg af aktivitet 3.1 typisk nødvendigt før et acceptabelt design opnås.

## Aktivitet 3.3: Dokumentér design af endeligt system

Et af grundprincipperne i et rekonfigurerbart produktionssystem er genbrug af udstyr og processer. Når et acceptabelt systemdesign er fundet, er det derfor essentielt at få dokumenteret dette design, så fremtidige systemer kan drage nytte af det pågældende design. Dermed sikrer man at man ikke skal starte fra bunden i designprocessen, men i højere grad kan designe og udvikle ud fra et "plug-and-play" princip.

Hvor traditionelt produktionsudstyr typisk er dokumenteret med tekniske tegninger og tilhørende datablade, er det i denne aktivitet vigtigt at tage højde for de specielle karakteristika for et rekonfigurerbart produktionssystem. Dette kan gøres ved at udvide den dokumenterede viden til også at omfatte information om modulers funktioner, hvilke interfaces der anvendes, hvilke standarder de eventuelt er designet ud fra, samt hvilke designbegrænsninger de enkelte interfaces eventuelt medfører.

## Modulbibliotek

En effektiv måde at samle viden om moduler er at oprette et design- eller modulbibliotek, hvor relevant stamdata for alle moduler er samlet. Informationen kan samles i såvel databaser og IT-systemer som i reelle kataloger eller booklets, hvor designere og udviklere kan hente information og inspiration. Formålet er at samle information om interfaces, modulvarianter, platforme og anden essentiel viden, som kan hjælpe fremtidige projekter omhandlende produktionsudvikling.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Case:

# Grundfos A/S udnytter ERP data til at designe fremtidens rekonfigurerbare produktionssystem

Grundfos A/S (herefter Grundfos) er verdensledende inden for udvikling og produktion af pumper til vand og andre væsker. Grundfos har produktion i hele verden – dette gælder komponentproduktion og montagelinjer, hvor nogle fabrikker fungerer som underleverandører til andre fabrikker. Grundfos har altså et meget stort antal produktionssystemer over hele verden.



Selvom Grundfos sælger og producerer mange forskellige pumpetyper og varianter – helt fra de små cirkulationspumper til dykpumper og flertrins centrifugalpumper – er der mange fællestræk i pumpernes arkitektur. Da produkterne har mange fællestræk, vil der naturligt også være et overlap i hvilket udstyr der indgår i produktionen, hvilke processer der udføres og hvilke kapaciteter dette udstyr har.

Derfor er der i Grundfos et stort potentiale for at genbruge og dele udstyr på tværs af produkter, produktionssystemer og fabrikker. Dette skyldes at man med en stor og kompleks produktportefølje som i Grundfos vil opleve varierende efterspørgsel over tid, løbende introduktion og udfasning af produktgenerationer og varianter, hvilket i sidste ende vil skabe varierende udnyttelse af linjer og udstyr over tid. Når f.eks. en linje eller noget udstyr bliver udnyttet mindre over tid i takt med at efterspørgslen på et specifikt produkt falder, vil det være relevant at vurdere om udstyret eller produktionssystemet kan genanvendes i en ny sammenhæng. Her kommer principperne omkring modulær produktion og rekonfigurerbar produktion ind i billedet.

Med andre ord er der i Grundfos et kæmpe potentiale for at øge modularisering og genbruge udstyr og linjer på tværs. Imidlertid er en af de store udfordringer, at viden omkring muligt genbrug er bundet på personer eller skrevet i tekstdokumenter. Derfor kan det være vanskeligt at søge efter og identificere udstyr i en specifik fabrik der kan løse en bestemt produktionsopgave.

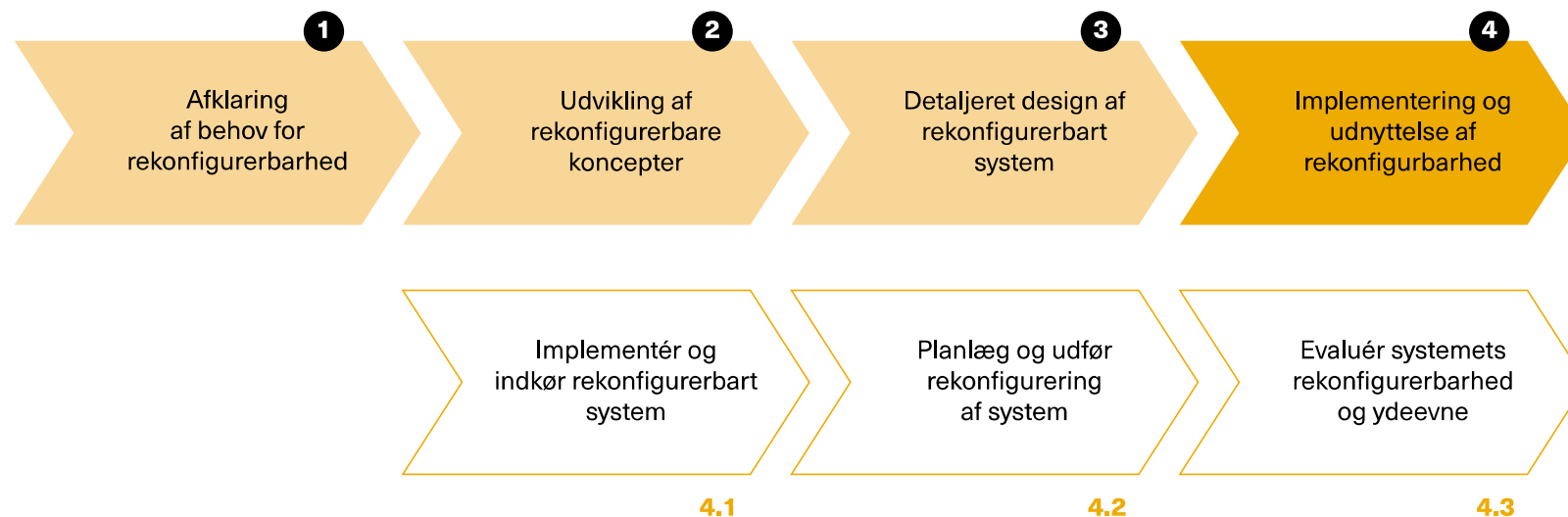
Derfor blev der i REKON-projektet i Grundfos udviklet en metode, der baseret på ERP data, kan identificere hvilke kapaciteter bestemte produktionssystemer og maskiner har, beskrevet som produkttegenskaber. Denne model vil i fremtiden potentielt kunne hjælpe Grundfos til at skabe overblik over eksisterende udstyr i form af deres produktkapacitet, dvs. imødekomme aktivitet 3.1 i REKON-metoden. På den måde kan man potentielt, hvis man står over for en ny produktionsopgave, søge i det eksisterende udstyr, baseret på produkttegenskaber, og derefter lave en liste over udstyr man allerede har i virksomheden, der potentielt kan udnyttes eller genanvendes til at etablere eller omstille en produktion til at producere et nyt produkt, øge kapaciteten, eller flytte produktionen fra en lokalitet til en anden. Metoden har derfor et stort potentiale i Grundfos, men kræver både videreudvikling og verificering før en større udrulning og brug er mulig. F.eks. kræver metoden store mængder af data og ikke mindst ressourcer til at sikre datakvalitet.

## Kapitel 9

# Trin 4: Implementering og udnyttelse af rekonfigurerbarhed

Trin 4 i REKON-metoden omhandler implementering og udnyttelse af rekonfigurerbarhed i produktionen. Efter det detaljerede design af det rekonfigurerbare produktionssystem er det nødvendigt at realisere dette. Derfor vil der i dette trin foregå installation og indkøring, hvorefter systemet overgår til drift. Netop for det rekonfigurerbare produktionssystem er det svært at adskille drift, rekonfigureringer og potentielle nye designs. I løbet af systemets driftstid er det nemlig nødvendigt at evaluere systemets kapaciteter i forhold til nye krav til funktionalitet og kapacitet. Som respons til ændrede systemkrav bør der udføres løbende rekonfigureringer af produktionssystemet i forskelligt omfang. Trin 4 er derfor et vigtigt skridt i REKON-metoden af flere grunde:

- I løbet af produktionssystemets levetid opstår der typisk nye udfordringer og muligheder grundet produkt- eller teknologiudvikling. Disse bør håndteres tilstrækkeligt hurtigt for at tilpasse sig og opnå konkurrencefordele.



**Figur 9.1.** Aktiviteter i trin 4 i REKON-metoden.

- Et rekonfigurerbart produktionssystem kræver kompetent beslutningstagning og planlægningskapacitet for at fungere effektivt. Med andre ord: hvis ikke rekonfigureringer foretages hurtigt og effektivt, så mistes fordelene ved dette.
- Løbende monitorering af produktionens ydeevne og rekonfigurerbarhed er vigtig for at spotte eventuelle behov for øget rekonfigurerbarhed og for at sikre at krav til rekonfigurerbarhed altid er opfyldt.

For at understøtte dette, indeholder trin 4 tre forskellige aktiviteter som er illustreret i figur 9.1. I figuren er aktiviteterne illustreret som havende en sekventiel og lineær sammenhæng. Det er dog vigtigt at huske på, at det rekonfigurerbare produktionssystem ændres i takt med evolution i produktfamilierne og forandringer i produktaftrækket. Typisk vil man derfor se iterationer mellem aktiviteter i trin 4, f.eks. kan man forestille sig at man efter aktivitet 4.3 kan opdage et behov for rekonfigurering og derfor genbesøge aktivitet 4.1 eller aktivitet 4.2. Det kan også være at det nye behov kræver en mere omfattende ændring i systemet, f.eks. design af nye moduler, hvilket kræver at man går helt tilbage til trin 1, trin 2 eller trin 3.

## Aktivitet 4.1: Implementér og indkør rekonfigurerbart system

Med denne aktivitet implementeres det rekonfigurerbare produktionssystem. Derfor vil man som resultat af denne aktivitet have et produktionssystem i drift. Her vil man typisk benytte sig af virksomhedsspecifikke procedurer for indkøring, test og ramp-up af nye produktionssystemer og udstyr. Specifikt for det rekonfigurerbare produktionssystem er det vigtigt at huske, at der ikke bare findes én implementering og én indkøring – tværtimod. Systemet vil løbende, enten på kort, mellem, eller lang sigt blive ændret i form af alternative konfigurationer. Nye konfigurationer kan f.eks. indebære:

- moduler eller værktøjer skiftes ud
- layoutet for en linje ændres
- nye procesmoduler tages i brug
- automatiseringsgrad øges

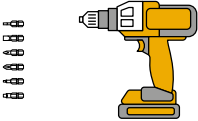
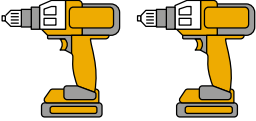
Derfor er det essentielt, at man i denne aktivitet ikke kun tager højde for at sætte den første konfiguration eller version af produktionssystemet i drift, men også tager hensyn til planlægning af både nuværende og fremtidige konfigurationer af systemet og dets moduler.

Dette kan bl.a. gøres ved at definere klare retningslinjer og instruktioner, som sikrer at opgaven i at rekonfigurere bliver udført og implementeret korrekt. Disse retningslinjer og instruktioner vil typisk afhænge af typen af krav og virksomhedens tidligere erfaring med den specifikke rekonfiguration. Krav (kort-, mellem- og langsigtede) som er drevet af variant-, volumen- og produktændringer fører til gradvist mere komplekse rekonfigurationer. F.eks. vil en rekonfiguration på grund af variantændringer (kortsigtet krav) ofte være mindre kompleks end en rekonfiguration forårsaget af produktændringer (langsigtet krav). Med udgangspunkt i tidligere erfaringer kan en virksomhed nemt fastslå, om den nødvendige rekonfiguration er ny eller har været foretaget før. Baseret på dette kan seks forskellige situationer beskrives, se figur 9.2. Hver af disse situationer bør have tilhørende retningslinjer og handlinger til implementering. Med inspiration i REKON-værktøjet til klassificering af rekonfigureringer og deres idriftsættelse kan man fokusere de mange implementeringer og indkøringer som vil foregå i systemets levetid. En løbende opdatering af retningslinjerne i hver af de seks identificerede situationer gør det også muligt at formalisere erfaringer over tid og kapitalisere på disse, hvilket vil reducere tiden som er krævet for fremtidige rekonfigureringer.

### Værktøj til klassificering af rekonfigureringer og deres idriftsættelse

Dette værktøj kan bruges til at klassificere forskellige typer af rekonfigureringer af et produktionssystem. Overordnet set bygger dette på hvorvidt virksomheden har prøvet den specifikke konfiguration før eller ej, samt hvilken type af krav som imødekommes (kort-, mellem- eller langsigtede). For hver type vil man kunne aflede nogle støttende principper for både hardware, software og den virtuelle del af systemet.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

		Erfaringer med forandringsbehov		
Forandringer krævet i produktionen		<b>KRAV PÅ KORT SIGT</b>	<b>Rekonfigurering til varianter foretaget før</b>	<b>Rekonfigurering til varianter ikke foretaget før</b>
		<b>KRAV PÅ MELLEM SIGT</b>	<b>Rekonfigurering til anden volumen foretaget før</b>	<b>Rekonfigurering til anden volumen ikke foretaget før</b>
		<b>KRAV PÅ LANG SIGT</b>	<b>Rekonfigurering til produktændringer foretaget før</b>	<b>Rekonfigurering til produktændringer ikke foretaget før</b>

**Figur 9.2.** *Forskellige typer af rekonfigureringer af et productionssystem, som kræver forskellige procedurer for implementering og idriftsættelse.*

## Aktivitet 4.2: Planlæg og udfør rekonfigurering af system

Efter aktivitet 4.1 vil man have et produktionssystem som er i drift i den ene eller anden konfiguration. Mens systemet er i drift, kan det dog stadig være nødvendigt at foretage ændringer, som ikke nødvendigvis kræver en større implementering og indkøring som i aktivitet 4.1. Det kunne typisk være ændringer af processer, værktøjer, ressource-allokeringer, antal skift, mv., som er af mere kortsigtet karakter. Her vil man oftest benytte systemets indbyggede fleksibilitet eller udskifte få moduler, som i så fald udgør en mindre rekonfigurering af systemet. Specifikt til sidstnævnte type af systemændring vha. frekvente rekonfigureringer, vil man kunne bruge REKON-værktøjet til forudsigelse af rekonfigureringer. Med dette værktøj er det muligt at allokere ressourcer dynamisk i form af f.eks. operatører eller rekonfigurerbare maskiner til daglige opgaver.

### Værktøj til forudsigelse af rekonfigureringer

Dette værktøj kan bruges til lave en data-drevet plan for et systems konfiguration og rekonfigurering. Selvom produkter er varierende og kundetilpassede, kan dette værktøj hjælpe til at forudsige montagetider for hver produktvariant og beregne antallet af nødvendige arbejdstimer, hvorved man kan lave en optimal plan for produktionen – altså bestemme om man den ene dag skal køre en konfiguration og den anden dag skal køre en anden konfiguration.

>> Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.

## Aktivitet 4.3: Evaluér systemets rekonfigurerbarhed og ydeevne

Denne tredje og sidste aktivitet i trin 4 omhandler overvågning af det aktuelle niveau af produktionssystemets rekonfigurerbarhed, samt løbende monitorering og evaluering af systemets ydeevne. Dette foregår ikke kun umiddelbart efter en rekonfiguration, men også i løbet af hele systemets levetid. Med denne aktivitet er virksomheden i stand til – over tid – at spotte potentielle områder, hvor det vil være en fordel at øge niveauet af rekonfigurerbarhed.

Med tiden vil en virksomhed typisk stå over for nye krav til produktionen grundet ændrede krav og "drivers" (som også er berørt i kapitel 6). Af denne grund kan det være nødvendigt at gentage trinene i REKON-metoden når man er færdig med trin 4, afhængigt af behovet for yderligere rekonfigurerbarhed i produktionen. Dette kunne f.eks. være på et tidspunkt efter at have implementeret en rekonfigurerbar maskine i produktionen, hvor produkt- eller markedskravene har ændret sig så meget at virksomheden bliver nødt til at udvikle et nyt modul til maskinen. Dette vil imidlertid kræve, at virksomheden genbesøger trin 3 for at foretage det detaljerede design af det nye modul. I et andet eksempel kan den samme virksomhed have behov for rekonfigurerbarhed på et andet produktionsniveau, hvilket ville kræve et genbesøg af enten trin 1 - hvis behovet for rekonfigurerbarhed skulle afklares - eller trin 2, hvis rekonfigurerbare koncepter allerede kan udvikles.

Generelt er simulering, herunder specifikt discrete event simulation, et værdifuldt og nyttigt værktøj i udviklingen af rekonfigurerbare produktionssystemer. Det gælder ikke bare i denne aktivitet, men også i de resterende aktiviteter i dette trin (som beskrevet i kapitel 5). Overordnet set kan en simuleringsmodel hjælpe med at teste og verificere ændringer i det rekonfigurerbare produktionssystem, f.eks. ved at identificere flaskehalse, gennemløbstider, udnyttelse, osv. Derfor vil man kunne bruge en simuleringsmodel til at undersøge og teste om det nuværende system, som er i drift, lever op til at kunne producere nye varianter eller om design ændringer er nødvendige. Derfor kan simulering bruges som et værktøj i aktivitet 4.3.

## Simulering af det rekonfigurerbare produktionssystem

Discrete event simulering kan bruges i mange aspekter af produktionsudvikling generelt. Men især i udvikling og driften af det rekonfigurerbare produktionssystem er det et nyttigt værktøj. Man kan f.eks. udføre en analyse og evaluering af det nuværende produktionssystem og finde gennemløbstider, flaskehalse, ventetid, osv. Man kan også bruge en simuleringssmodel til at undersøge alternative rekonfigurationer af systemet inden de sættes i drift. Eftersom der findes mange mulige typer af simuleringsssoftware og mange måder at bygge en model op på, vil det være nødvendigt at lave case-specifikke beslutninger om dette. I appendiks i denne bog er det muligt at finde nogle generelle guidelines omkring brugen af simulering i et rekonfigurerbart produktionssystem. Derudover indgår en sammenligning af gængse software løsninger til denne form for simulering.

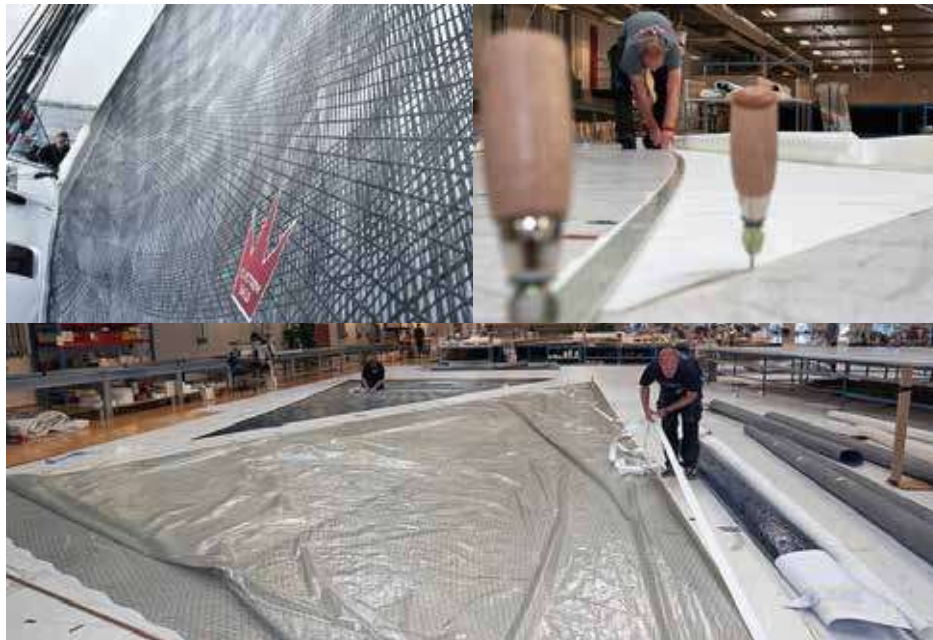
*Læs mere om REKON-værktøjerne i bogens appendiks.*



## Case:

# Data-drevet rekonfigurering af montageprocesser reducerer gennemløbstid i produktionen i Elvstrøm Sails A/S

Elvstrøm Sails A/S (herefter Elvstrøm Sails) er en dansk producent i sportsudstørsbranchen – og en af de to markedsledende virksomheder indenfor



skræddersyede sejl til cruising og kapsejls. I Elvstrøm Sails varierer produkterne ekstremt meget i form, materiale og størrelse – lige fra få kvadratmeter til over tusinde kvadratmeter.

Leveringstid er en vigtig konkurrenceparameter for Elvstrøm Sails og for at opretholde deres markedsposition, ønskede virksomheden at reducere gennemløbstider i produktionen. Derved forventede man at reducere leveringstiden til kunderne, især i perioder med ekstra stort behov og sæsonudsving. Specifikt er samlingen af sejlene primært manuel og nogle af montage trinene er specialiserede til individuelle processer. På grund af den store produktvariation og kundetilpasning, bruger disse processer meget forskellige værktøjer og materialer. Derfor varierer monteringsstiden på hvert af disse stadier også betydeligt.

I REKON-pilotprojektet i Elvstrøm Sails var der derfor fokus på at forbedre udnyttelsen af Elvstrøm Sails' nuværende rekonfigurerbarhed. I princippet er en meget manuel produktion yderst fleksibel af natur – man kan producere mange forskellige produktvarianter, men det kan tage mere eller mindre tid. Gennem indledende undersøgelser i virksomheden, f.eks. en screening af virksomhedens krav og eksisterende niveau af rekonfigurerbarhed i produktionen, var det tydeligt at en forbedring af omstillingsparatheden ikke ville omhandle design af nyt udstyr. Tværtimod var det naturlige udgangspunkt at øge og optimere udnyttelsen af den allerede eksisterende fleksibilitet og rekonfigurerbarhed. I REKON-projektet fokuserede man derfor på trin 4 i REKON-metoden – helt specifikt på aktivitet 4.2.

For at planlægge og udføre system rekonfigurationer af montageprocesserne, udviklede Elvstrøm Sails i samarbejde med forskere fra Aalborg Universitet et forudsigelsesværktøj til rekonfigurationer. Værktøjet forudsiger montagetider for hver produktvariant og beregner antallet af nødvendige arbejdstimer hver dag på hver samlestation. Elvstrøm Sails anvender disse oplysninger til den daglige planlægning af montagefaserne, således at allokeringen af medarbejdere til de enkelte etaper kan matche dagens reelle arbejdsbyrde. Dette er muligt, fordi montage trinene allerede er rekonfigurerbare, ikke mindst grundet operatørernes fleksibilitet.

Med dette REKON-værktøj bliver Elvstrøm Sails i stand til bedre at fordele og balancere montagearbejdet til operatørerne, hvilket reducerer gennemløbstiden i produktionen med op til 45% og dermed også ventetiden på alle montage stadier. Dette gør det muligt for Elvstrøm Sails at reducere den samlede gennemløbstid, hvilket resulterer i en betydelig konkurrencefordel.

## Kapitel 10

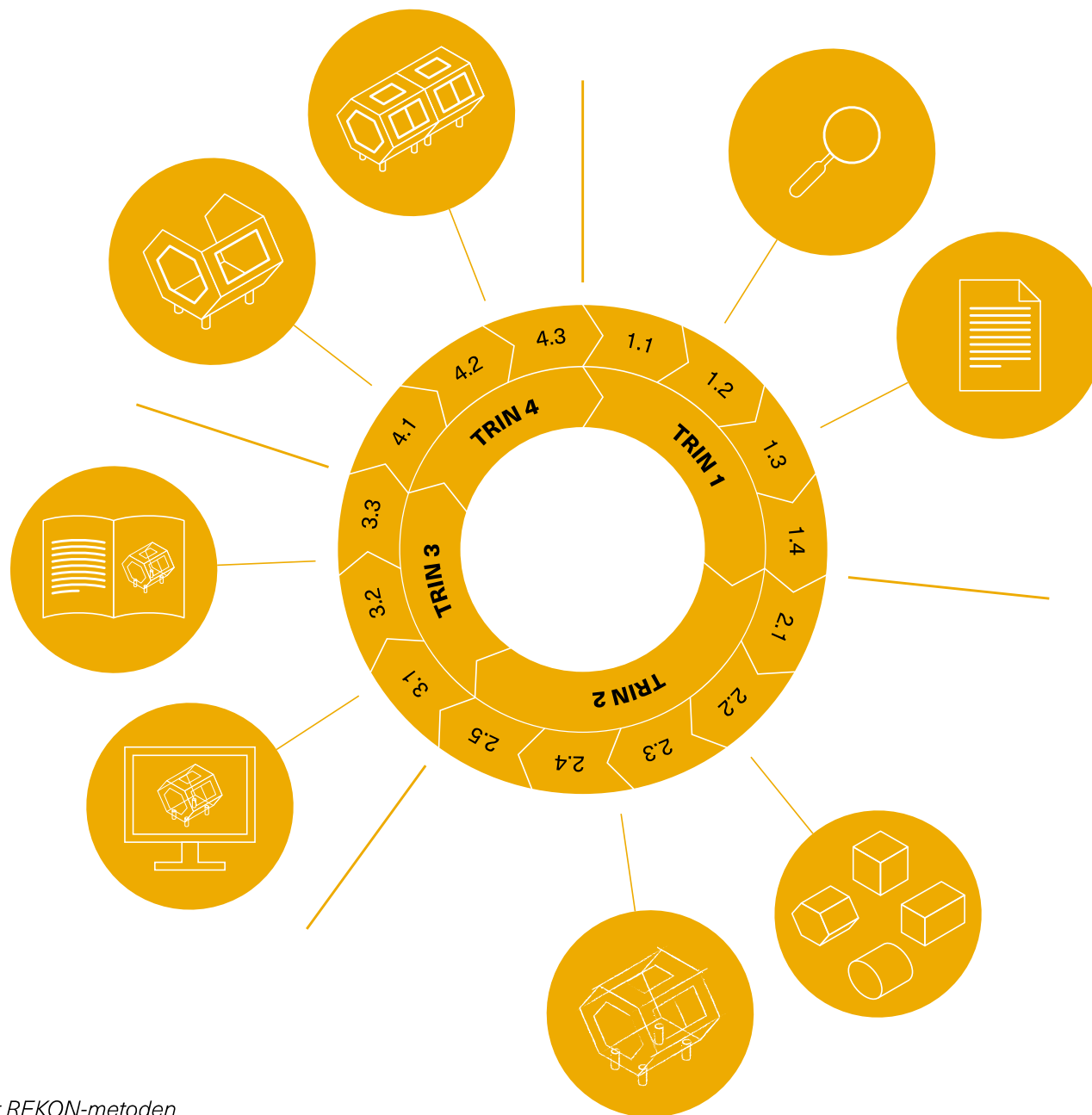
# Fra REKON-metoden til virkelighed

I denne bog er REKON-metodens 4 trin og 15 aktiviteter blevet beskrevet. Derudover er 13 specifikke værktøjer og 2 eksempler blevet præsenteret som en hjælp til at udføre de forskellige aktiviteter i et virkeligt udviklingsprojekt. REKON-metoden starter altså helt fra en kortlægning af virksomhedens specifikke "drivers" for ændringer indenfor en specifik produktgruppe eller område af produktionen og ender med et færdigudviklet design, hvor udnyttelse af rekonfigurerbarheden i hele systemets livscyklus er mulig. I figur 10.1 gives et overblik over hele REKON-metoden.

Et af hovedbudskaberne i denne bog er at rekonfigurerbarhed og modularisering af produktionen er yderst fordelagtigt i alle typer af produktion, som på den ene eller anden måde oplever krav om øget omstillingsparathed. De beskrevne virksomhedscases, som indgår i denne bog, bevidner at rekonfigurerbarhed er fordelagtigt i alt lige fra produktion af vindmøller, sejl, energimålere, pumper, lastbiler til salat og madrasser. Selvfølgelig er de specifikke mål og løsninger ikke ens i disse virksomheder, men fælles er et ønske om øget genbrug, øget modularisering, og øget rekonfigurerbarhed.

Alle virksomhedscases i denne bog viser desuden hvordan man specifikt har fokuseret på nogle aktiviteter og værktøjer i REKON-metoden. Vestas Wind Systems A/S og Ljusgårda AB viser et fokus på økonomisk og teknisk evaluering, mens Kamstrup A/S og Grundfos A/S har fokuseret på at kortlægge produkter og produktion og dokumentere dette for at skabe grundlag for øget genbrug på tværs af systemer og fabrikker. Volvo Group Trucks Operations har arbejdet med adskillige trin og aktiviteter i REKON-metoden, mens Dan-Foam ApS fokuserede på at anvende screening af krav til rekonfigurerbarhed som input til et udviklingsprojekt. Sidst men ikke mindst viste Elvstrøm Sails A/S hvordan man ved hjælp af data kan forudsige konfigurationer af et allerede yderst omstillingsparat montagesystem.

Gevinsterne ved at skabe en modulært, platformsbaseret og rekonfigurerbar produktion er store og rækker lige fra de mere operationelle fordele til de mere strategiske fordele. En dansk virksomhed som rent faktisk er lykkedes med at udvikle, implementere og udnytte et rekonfigurerbart produktionssetup er Hydrema A/S



**Figur 10.1.** *Overblik over REKON-metoden.*

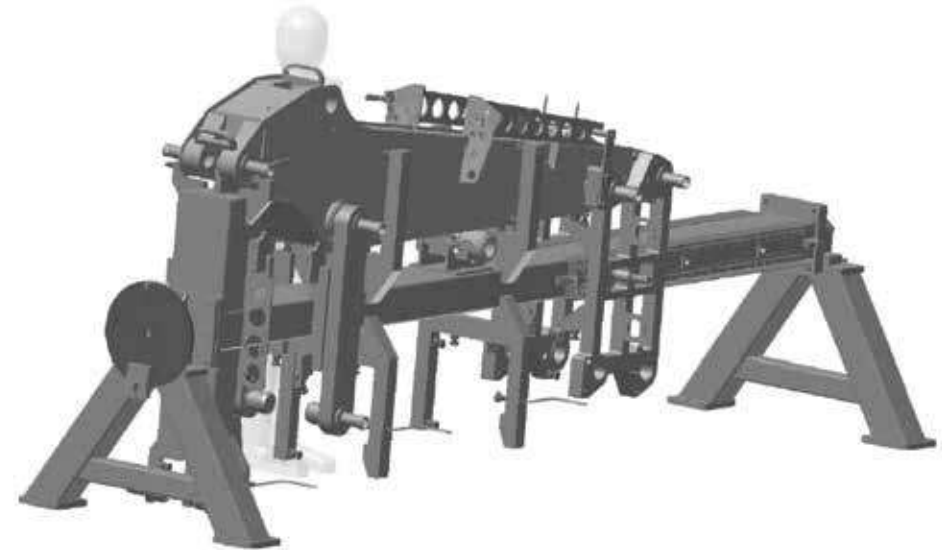
## Case:

# Rekonfigurerbare svejsefiksturer giver drastisk reduktion i maskinparken og reducerer omstillings-tider i produktionen hos Hydrema A/S

Lidt syd for Aalborg ligger den familieejede virksomhed Hydrema A/S (herefter Hydrema), som siden slutningen af 1950'erne har produceret innovative entreprenørmaskiner. Virksomheden er vokset i såvel størrelse som produktportefølje. Kombinationen af en bred produktportefølje, fokus på kundetilpassede produktvarianter samt generelt store produkter medførte af Hydrema stod med en skov af store svejsefiksturer. Et eksempel kan ses i figur 10.2.

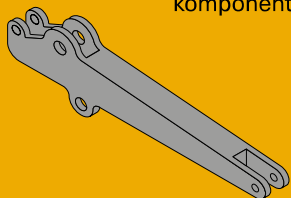
Disse fiksturer var traditionelt dedikerede og kunne altså kun bruges til enkelte produktvarianter. I produktionen af entreprenørmaskiner indgår svejsning af flere større komponenter, såsom gravearme, chassis, skovle, osv., og netop produktionsomstillinger mellem disse er tidskrævende. Dette indebærer nedtagning af udstyr, transport af udstyr, samt efterfølgende opsætning af nyt udstyr. Udover de logistiske udfordringer med frekvent transport af disse fiksturer, er pladsen disse optager også betydelig. Hydrema så derfor et potentiale i at undersøge udviklingen af mere omstillingsparate svejsefiksturer for at reducere de udfordringer som eksisterende dedikerede svejsefiksturer medførte.

Et forskningsprojekt med Aalborg Universitet resulterede i udviklingen af en ny type modulært og rekonfigurerbart svejsefikstur, som muliggjorde anvendelse af samme udstyr til en hel produktfamilie. Udviklingen fulgte i grove træk samme trin som i REKON-metoden, herunder gruppering af komponenter i familier, identifikation af krav til rekonfigurerbarhed, identifikation af funktioner og modul-kandidater, design af moduler og interfaces, og vurdering af potentialet af den nye fikstur. Som resultat fik man udviklet en ny svejsefikstur som var modulært og nemt kunne rekonfigureres, se figur 10.3.

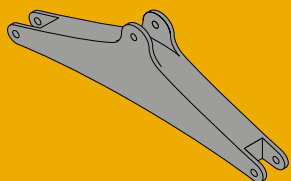


**Figur 10.2.** Illustration af et af mange dedikerede svejsefiksturer.

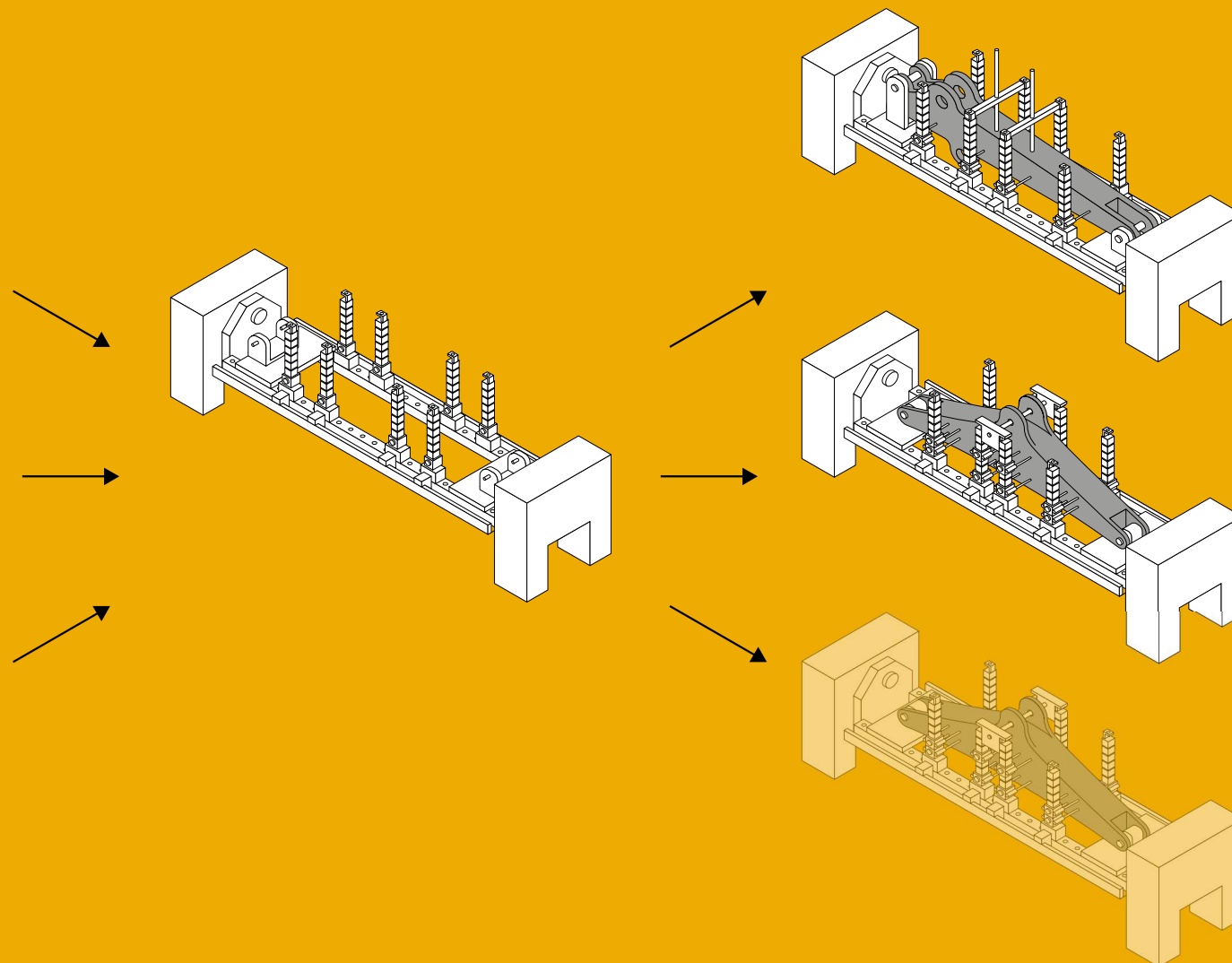
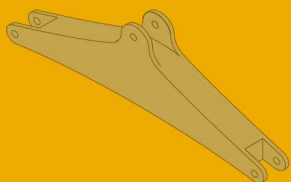
Produkt  
komponent B



Produkt  
komponent E



Produkt  
komponent N



**Figur 10.3.** Illustration af det modulære og rekonfigurerbare svejsefikstur, og dets evne til at producere flere varianter indenfor samme komponentfamilie.

Som resultat fik man udviklet en ny svejsefikstur som var modulært og nemt kunne rekonfigureres. Projektet har hjulpet Hydrema til at planlægge fremtidige fiksturer, der vil øge effektiviteten og reducere omstillingen markant. Ligeledes vil det også reducere antallet af store svejsefiksturer væsentligt.

# 1.1 - Screeningsværktøj for rekonfigurerbarhedskrav

## Sådan virker det

Værktøjet er bygget i Excel og har til formål at identificere krav til rekonfigurerbarhed i produktionen baseret på en række spørgsmål indenfor tre overordnede kategorier: produkt, produktion og teknologiudvikling. Værktøjet understøtter screening af flere produktfamilier på samme tid og er derfor en effektiv måde at danne et overblik over hvordan udvalgte produktfamilier påvirkes af eventuelle ændringer i såvel produkt- som produktionsdesign. Derudover kan det bruges til at forstå hvorledes disse ændringer påvirker virksomhedens evne til at imødekomme fremtidige produktkrav fra et produktionsmæssigt perspektiv. Det anbefales at spørgeskemaet bruges som baggrund for diskussion om krav til ændringer i produktionen nu og i fremtiden, samt at man udvælger en eller flere produktfamilier som baggrund for analysen.



**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse)

## Anbefalet læsning

**Napoleone, A., Andersen, A.-L., Brunoe, T. D., Nielsen, K. 2021.** An Industry-Applicable Screening Tool for the Clarification of Changeability Requirements. In: IFIP Advances in Information and Communication Technology, 631: 471-478.

**Andersen, A.-L., ElMaraghy, H., ElMaraghy, W., Brunoe, T. D., Nielsen, K. 2018.** A participatory systems design methodology for changeable manufacturing systems. International Journal of Production Research, 56(8): 2769–2787.



## Forudsætninger

- Viden om produktfamilier og ændringer i produktkarakteristika og markedsudvikling
- Viden om eksisterende produktionssystemer



## Medarbejdere

- Salgs/marketing eksperter
- Strategi/investerings eksperter
- Produktionschefer
- Produkt eksperter
- Produktionsudviklere

## Sådan anvendes værktøjet

Produkt(er) udvælges



Screenings spørgsmål besvares

Produkt		
Variation	X	X
Kundetilpasning		X
Proceskrav	X	
Produktintroduktion	X	X
Produkt livscyklus		X
Produktion		
Produktionsvolumen		X
Produktmix	X	
Udsving i produktionsvolumen		
Teknologi		
Procesændringer	X	X
Materialeændringer		X

Rekonfigurerbarhedskrav

<b>Kort sigt</b> Variantændringer		
<b>Mellem sigt</b> Volumenændringer		
<b>Lang sigt</b> Produktændringer		

## Forventede resultater

- Et overblik over kort-, mellem-, og langsigtede krav til rekonfigurerbarheden i produktionen kvantificeres og danner input for senere kravspecificering for udviklingsprojekter i produktionen.
- En analyse af nuværende og fremtidige krav til produktion ud fra forskellige "drivers" af ændringer.

# 1.2 - Screeningsværktøj for vurdering af produktionens rekonfigurerbarhed

## Sådan virker det

Screeningsværktøjet bygger på en række Excel-ark med spørgsmål relateret til hver af de forskellige karakteristika af rekonfigurerbarhed. Screeningen foregår ved at det ønskede niveau af rekonfigurerbarhed identificeres baseret et par indledende spørgsmål, samt specificering af det ønskede produktionsområde som skal screenes. Efterfølgende besvares yderligere en række spørgsmål relateret til rekonfigurerbarhed. Evalueringen af produktionens rekonfigurerbarhed opnås ved at gennemgå produktionen stepvis og besvare spørgsmål om rekonfigurerbarhed. En summeret score, baseret på de afgivne svar, vises sammen med en grafisk oversigt over niveauet af rekonfigurerbarhed.



**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjsskisse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjsskisse)

## Anbefalet læsning

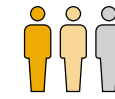
**Boldt, S., Rösiö, C., Bergström, A., Jödicke, L. 2021.** Assessment of Reconfigurability Level within Existing Manufacturing Systems. In: Procedia CIRP, 104: 1458-1463.

**Boldt, S., & Rosio, C. 2020.** Evaluation of reconfigurability in brownfield manufacturing development. Paper presented at the Advances in Transdisciplinary Engineering, 13: 513-524.



## Forudsætninger

- Viden om produktionssystemet, herunder udstyr og interfaces.



## Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Ekspertter fra specifikke områder i produktionen

## Sådan anvendes værktøjet

### Indledende evaluering

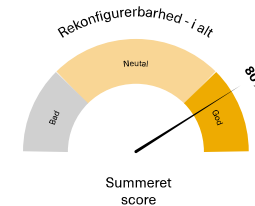


### Rekonfigurerbarhedsevaluering

		Produktionslinje 1	Produktionslinje 2	Produktionslinje 3
1,1	Er værktøjet designet til modularitet?	Stet ikke	X	
		Til en vis grad	X	
1,2	Er fikturerne designet til modularitet?	Medium		X
		Systemet er for det meste modulopbygget	X	
1,3	Er maskinerne designet til modularitet?	Systemet er fuldt ud modulopbygget	X	

### Detaljeret score

Produktionslinje 1, 2, 3 ...	Points	Antal spørgsmål	Maksimum mulige points	Chac percentage	Gennemsnitlig score
Karakteristika	1	1	4	25%	1
Modulbaritet	0	0	0	0	0
Integrerbarhed	0	0	0	0	0
Diagnosebarhed	0	0	0	0	0
Konvertibilitet	0	0	0	0	0
Skalerbarhed	0	0	0	0	0
Tilpasning	0	0	0	0	0



## Forventede resultater

- Et overblik over hvordan forskellige karakteristika af rekonfigurerbarhed vises, hvilket muliggør en målrettet indsats i videre udviklings- og designaktiviteter i produktionen.
- Den endelige rekonfigurerbarhedsscore for de undersøgte produktionssegmenter muliggør en sammenligning mellem de faktiske resultater og det ønskede niveau af rekonfigurerbarhed specificeret tidligere i anvendelsen af værktøjet.
- Værktøjet kan anvendes løbende til at evaluere forbedringsinitiativer foretaget i produktionen.

# 1.3 - Business case værktøj

## Sådan virker det

Værktøjet bygger på en simpel metode til at beregne og simulere totalomkostningen over hele levetiden af systemet. Den nemmeste er at lave dette i Excel. På helt simpel vis beregnes de operationelle og kapitale omkostninger og tilbagediskonteres til nutidsværdi. Dette gøres for alle mulige scenarier af behov og aftræk, hvorfor Monte Carlo simulering er nødvendig. Modellen kræver tre typer af input:

- 1 Karakteristika (overordnede) af de koncepter man ønsker at evaluere, dvs. indledende investering, investering ved nye produkter, areal behov, vedligeholdelseskostninger, tid for at konvertere til nye produkter, mulige kapacitetsudvidelser, nedetid ved omstilling, osv.
- 2 Behov fra markedet, dvs. produkter der introduceres, forventet aftræk i volumen de kommende år, usikkerhed omkring dette, f.eks. best case, worst case, most likely case. Det er vigtigt at man tager stilling til usikkerheden og kortlægger mulige scenarier.
- 3 Overordnede evalueringsparametre, f.eks. tidshorisont, diskonteringsats, perioder der evalueres, osv.

## Anbefalet læsning

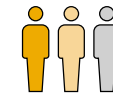
**Andersen, A. L., Brunoe, T. D., Nielsen, K., & Bejlegaard, M. 2018.** Evaluating the investment feasibility and industrial implementation of changeable and reconfigurable manufacturing concepts. In; Journal of Manufacturing Technology Management.

**Brunoe, T. D., Napoleone, A., Andersen, A. L., & Nielsen, K. 2021.** Impact of Different Financial Evaluation Parameters for Reconfigurable Manufacturing System Investments. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 479-487). Springer.



## Forudsætninger

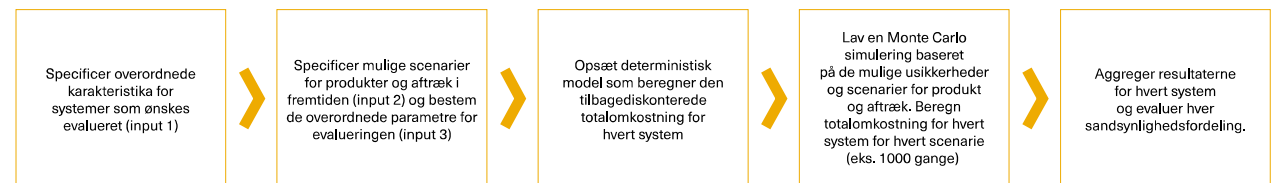
- Viden om de overordnede parametre for et eller flere alternative produktionssetup
- Viden om mulige scenarier for produkter og behov i en årrække i fremtiden



## Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Projektledere
- Ledere

## Sådan anvendes værktøjet



## Forventede resultater

- Med denne beregningsmodel og metode vil man kunne sammenligne totalomkostninger for forskellige overordnede typer af produktionssystemer, f.eks. sammenligne et dedikeret system med et modulært eller et fleksibelt. Man kan også sammenligne et mere rekonfigurerbart system med et eksisterende system i en virksomhed.
- Man vil kunne vurdere og evaluere overordnede økonomiske aspekter og potentialer ved rekonfigurerbarhed i en given kontekst.
- Man vil kunne evaluere hvilken type system som vil være mest omkostningseffektivt og robust overfor usikkerheder i virksomhedens fremtidige produktaftræk.
- Man kan danne et solidt fundament for at tage en beslutning om hvorvidt det giver mening at gå videre med at udvikle et koncept og detaljeret design for et rekonfigurerbart produktionssystem.



# 1.4 - Eksempel på liste af krav til design af rekonfigurerbarhed

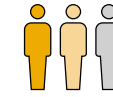
## Sådan virker det

Dette eksempel hjælper med at vise hvordan man kan lave en liste af krav for det rekonfigurerbare produktionssystem. Kravene kan være af teknisk, økonomisk eller funktional karakter og danner input til såvel efterfølgende konceptdesign som senere evaluering af koncepter og detaljeret design. Som eksempel kan tages udgangspunkt i en differentiering mellem krav til rekonfigurerbarhed over forskellige tidshorisonter og med forskellige strukturelle og styringsmæssige ændringer i systemet.



## Forudsætninger

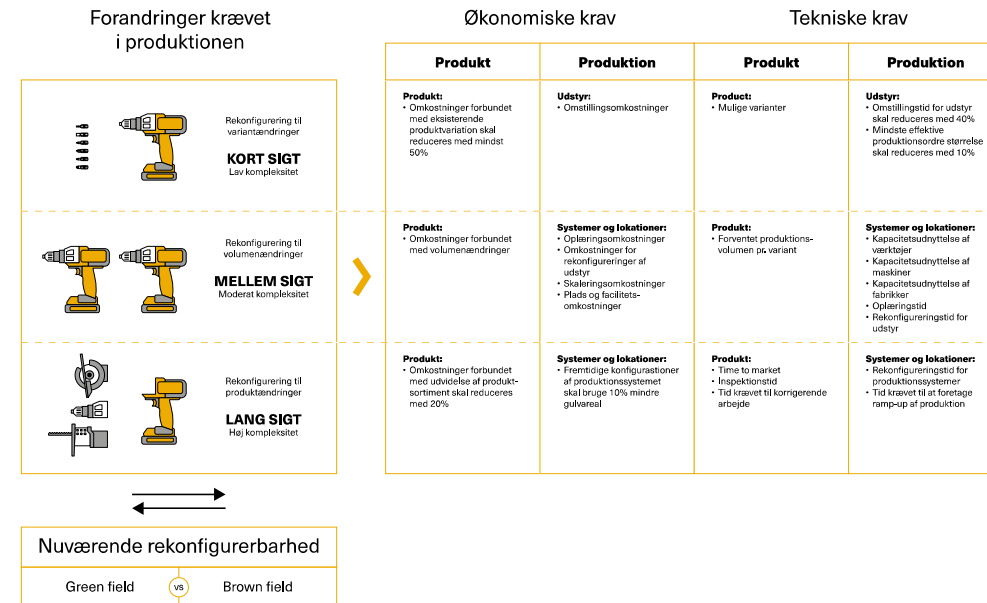
- Viden om de overordnede parametre for et eller flere alternative produktionssetup
- Viden om mulige scenarier for produkter og behov i en årrække i fremtiden



## Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Projektledere
- Ledere

## Sådan anvendes værktøjet



## Forventede resultater

- En liste over krav til produktionssystemets rekonfigurerbarhed.
- Input til konceptdesign.

## 2.1 - Produkt variant master

### Sådan virker det

Produkt variant master (PVM) er et værktøj til at visualisere hvilke produktfunktioner der er fælles på tværs af et produkt eller en produktfamilie og hvilke der kan differentieres.

PVM arbejder med to grundlæggende koncepter: "part-of" og "kind-of". De såkaldte "part-of" funktioner kan identificeres ved at nedbryde produktet i sin stykliste for derved at få de funktioner der udgør produktet i sin helhed. Ligesom at der kan identificeres successive "part-of" subsystemer i et produkt, kan der også eksistere flere "kind-of" optioner. Forskellen er dog her, at "kind-of" optioner findes på samme niveau i den generiske produktrepræsentation.

PVM kan også udvides til at inkludere flere perspektiver end kun et produktperspektiv som beskrevet herover

- Kundeforspektiv: identificering af værdiskabende funktioner eller fysiske egenskaber
- Udviklingsperspektiv: identificering af produktets funktioner og relationer mellem disse
- Produktionsperspektiv: Nedbrydning af produktstykliste og varianter heraf.

### Anbefalet læsning

**Mortensen, N. H., Hvam, L., & Haug, A. 2010.**

Modelling product families for product configuration systems with product variant master. In ECAI 2010 Workshop on Intelligent Engineering Techniques for Knowledge Bases (IKBET) (Vol 1).



### Forudsætninger

- Viden om produktvariation, herunder styklistes på flere niveauer

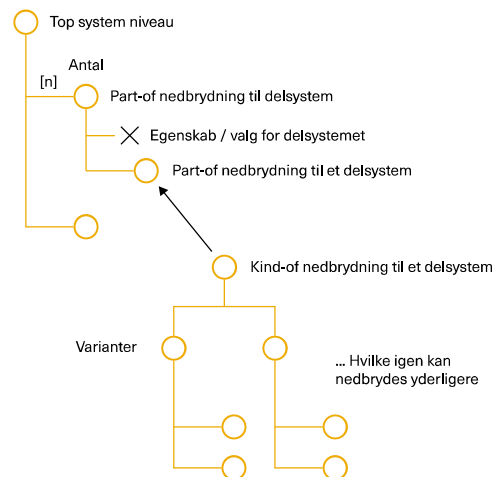


### Medarbejdere

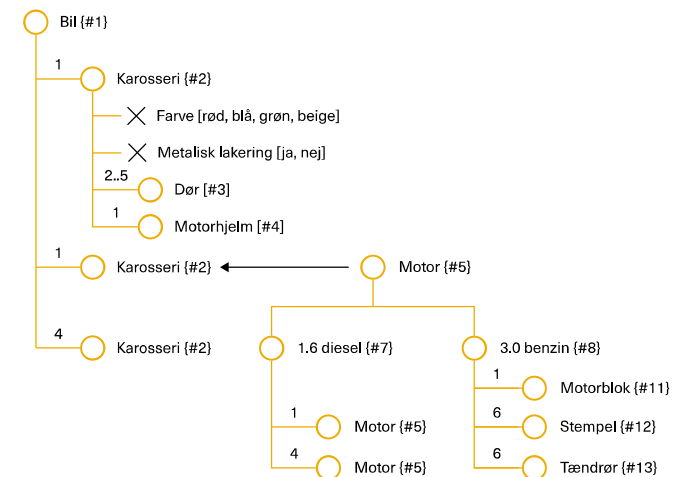
- Produktudviklere
- Salg/marketing repræsentant

### Sådan anvendes værktøjet

#### Generisk PVM



#### PVM eksempel



### Forventede resultater

- Kortlægning af produktfamilier vha. produkt variant master gør det muligt at analysere hvilken variation der er i den pågældende familie og understøtter dermed analyse af nødvendig såvel som unødvendig variation set i forhold til de relaterede produktionsprocesser.

## 2.2 - Changeability mapping værktøj

### Sådan virker det

Changeability mapping værktøjet er udviklet til at assistere såvel produkt- som produktionsudviklere ift. hvordan produktdesignbeslutninger påvirker evnen til at producere nye produktvarianter med eksisterende produktionsprocesser. Værktøjet er en metode i fire trin og involverer produktanalyse, procesanalyse og relationer mellem disse to domæner. Produktionsudviklere kan benytte viden fra anvendelse af metoden til at fokusere investeringer i nyt udstyr eller forbedringer af eksisterende processer ift. om behovet behøves løses via dedikeret, fleksibelt eller rekonfigurerbart udstyr. Dette vil typisk være som respons til utilfredsstillende ydeevne af eksisterende processer eller på baggrund af forventede produktændringer. Metoden kan også have værdi udenfor produktionsafdelingen, da produktudviklere kan bruge informationen til at danne overblik over hvilke designfriheder de har med eksisterende produktionsprocesser.



**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse)

### Anbefalet læsning

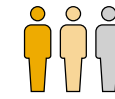
**Kjeldgaard, S., Andersen, R., Napoleone, A., Brunoe, T.D., Andersen, A.-L. 2023.** Facilitating Manufacturing System Development: Mapping Changeability Capabilities in Two Industrial Cases. In: Lecture Notes in Networks and Systems, 546: 626-635.

**Schou, C., Sørensen, D. G. H., Li, C., Brunø, T. D., & Madsen, O. 2021.** Determining manufacturing system changes based on new product specifications. In: Journal of Global Operations and Strategic Sourcing, 14(4), 590-607.



### Forudsætninger

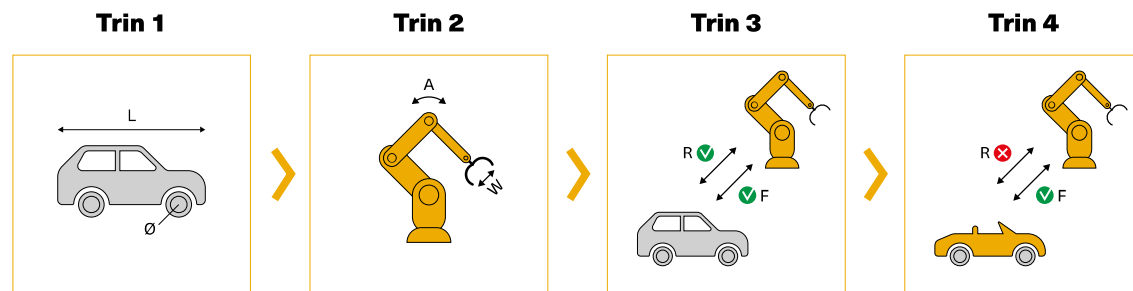
- Viden om produktkarakteristika
- Viden om proceskapabiliteter
- Viden om relationer mellem produktkarakteristika og processer



### Medarbejdere

- Produktudviklere
- Produktionsudviklere

### Sådan anvendes værktøjet



Identificér produkt-karakteristika som er essentielle for om produktet kan produceres i eksisterende processer samt karakteristika som forventes ændret i fremtiden.

Identificér relevante produktionsprocesser for den udvalgte produkt eller komponentfamilie. Typisk opstilles en liste med processer og deres kapabiliteter.

Kortlæg relationer mellem produkt-karakteristika og processer hvor: (1) processerne påvirkes af omstillinger mellem produktvarianter eller (2) hvor processerne påvirkes ved introduktion af nye produktvarianter. Dette kan gøres i en todimensionel tabel.

Identificér påvirkningen på de identificerede processer ved skift mellem produktvarianter eller introduktion af nye varianter. Dette gøres ved at analysere om nye varianter overholder processernes eksisterende arbejdsrum.

### Forventede resultater

- Indsigt i hvordan produktkarakteristika og ændringer af disse påvirker specifikke produktionsprocesser og deres omstillingsparathed.
- Viden om produktionsprocessers kapabiliteter ift. eksisterende og fremtidige produktvarianter.
- Oversigt over behov for øget omstillingsparathed i specifikke produktionsprocesser jf. forventede fremtidige produktændringer.

## 2.3 - Katalog over rekonfigurerbare løsninger

### Sådan virker det

Flere industrivirksomheder har udviklet rekonfigurerbart produktionsudstyr og rekonfigurerbare produktionslinjer. Flere systemleverandører tilbyder rekonfigurerbart produktionsudstyr. Dette katalog er et lille uddrag af forskellige løsninger til øget rekonfigurerbarhed på tværs af systemniveauer og med varierende tidshorisont. Kataloget er ikke tiltænkt som en komplet samling, men nærmere som inspiration til hvordan rekonfigurerbarhed kan materialiseres i forskellige former og i forskellige industrielle kontekster. Eksemplerne spænder over en bred række industrier og virksomhedsstørrelser – fra lokale SMV'er til nogle af verdens største produktionsvirksomheder.

### Sådan anvendes værktøjet

	Fysisk		Logisk	
	Udstyr	System	Software	Operatører
<b>Kort sigt</b> Variantændringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bevægelige fikstur støttepunkter</li> <li>• Robot-støttet fiksering af emner</li> <li>• Modulære støbeforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Plug-n-play" moduler til variantskabelse i fødevarerproduktion</li> <li>• Modulær sorteringsaskene til landbrugssektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Værktøj til forudsigelse af rekonfigureringer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versatile operatører</li> </ul>
<b>Mellem sigt</b> Volumenændringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobile modulære arbejdsstationer</li> <li>• Skalerbar "2D-printer"</li> <li>• Modulær processeringsanlæg til fødevarer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plads til kapacitetsudvidelse</li> <li>• Modulær processeringsanlæg til fødevarer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exoskelet til at skalere kapacitet i manuelle processer</li> <li>• Fleksible skift og versatile operatører</li> </ul>
<b>Lang sigt</b> Produktændringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobile modulære arbejdsstationer</li> <li>• Rekonfigurerbart maskinværktøj</li> <li>• Modulær processeringsanlæg til fødevarer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modulært montage system</li> <li>• Rekonfigurerbar slutmontage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtual reality til oplæring af operatører</li> <li>• Smarte robotter</li> <li>• Simulering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oplærings- og træningsprocedurer</li> <li>• Versatile operatører</li> </ul>



**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse)

## 2.4 - Modular function deployment for production (MFDP)

### Sådan virker det

Modular function deployment er oprindeligt udviklet til design af modulære produkter og er en anerkendt metode til dette formål. I sin udvidede form, som repræsenteret i denne bog, er metoden tiltænkt design af modulære produktionssystemer.

MFDP består af fem sekventielle trin som berører alle faser af produktionssystemdesign fra specificering af systemkrav over konceptudvikling til detaljeret design af produktionsmoduler. Et essentielt element af MFDP er anvendelsen af "module drivers" (se tabel 1, side 44) til at guide designere i modulariseringsbeslutninger. MFDP er iterativ af natur og det kan oftest være nødvendigt at genbesøge tidligere skridt i designprocessen, hvorfor metoden oftest afbilledes som cirkulær.

### Anbefalet læsning

**Brunoe, T.D., Bossen, J., Nielsen, K. 2015.**

Identification of Drivers for Modular Production. In: IFIP Advances in Information and Communication Technology, 459: 235-242

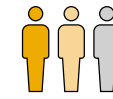
**Börjesson, F. 2014.** Modular Function Deployment Applied to a Cordless Handheld Vacuum. In: Advances in Product Family and Product Platform Design, 605-623.

**Ericsson and Erixon. 1999.** Controlling Design Variants: Modular Product Platforms. Society of Manufacturing Engineers.



### Forudsætninger

- Viden om produkt- og produktionsstrategi
- Viden om relationer mellem produkt-karakteristika og processer

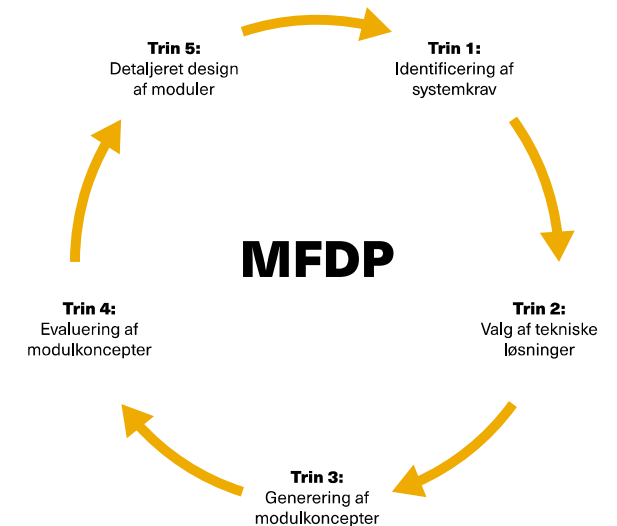


### Medarbejdere

- Produktudviklere
- Produktionsudviklere

### Sådan anvendes værktøjet

- 1 Afklaring af krav til produktionssystemet via mapping mellem produktkrav og systemfunktioner. Dette gøres via en todimensionel tabel med inspiration fra Quality Function Deployment-metoden.
- 2 Med afsæt i identificerede systemfunktioner evalueres mulige tekniske løsninger og bedst egnede vælges som løsning til hver funktion.
- 3 Generering af modulkoncepter og interfaces på baggrund af virksomhedens produkt- og produktionsstrategi. Forskellige interessante grupperinger af module drivers og systemfunktioner opstilles.
- 4 De genererede modulkoncepter evalueres op mod parametre for godt modulært design og virksomhedsspecifikke mål. Evalueringen muliggør udvælgelse af bedst egnede modulkoncept.
- 5 Slutteligt foretages detaljeret design af det udvalgte modulkoncept.



### Forventede resultater

- Analyse af produktkrav og deres relation til produktionsprocesser giver indsigt i påvirkning af produktvariation på produktionsprocesser
- En analyse af et produktionssystemskrav ud fra et rent funktionelt perspektiv giver anledning til større designfrihed
- Afsæt i produkt og produktionsstrategi ved generering af moduler giver anledning til moduler med klart forretningsfokus
- MFDP resulterer i et eller flere produktionsmoduler

## 2.5 - Rangeringshierarki og matrix

### Sådan virker det

Det kan være svært at skulle evaluere og rangere en lang række parametre præcist, grundet de mange mulige kombinationer. Derfor kan man anvende en metode kaldet analytical hierarchy proces (AHP). Forenklet betyder det blot at rangeringsspørgsmålet deles op i mindre elementer, hvor man som beslutningstager skal forholde sig til parvise valg, f.eks.: Er A eller B mest vigtig for et givent koncept? Ved at foretage sådanne simple parvise evalueringer og efterfølgende opsummere resultaterne, kan man generere en rangeret liste over hvilke koncepter der yder bedst ud fra hvordan en eller flere beslutningstagere har vurderet koncepternes ydeevne langs en række forskellige parametre. Denne metode benyttes i dette værktøj til præcist at foretage komplekse evalueringer af både teknisk og økonomisk natur for forskellige designkoncepter for rekonfigurerbare produktionssystemer. Værktøjet er brugbart når ren kvantitativ evaluering af koncepter er urentabelt eller utilstrækkelig information er tilgængelig og der derfor er behov for at benytte ekspertvurderinger som evalueringsgrundlag.



**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse)

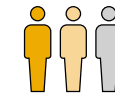
### Anbefalet læsning

**Napoleone, A., Brunoe, T. D., Andersen, A.-L., Nielsen, K. 2021.** A Tool for the Comparison of Concept Designs of Reconfigurable Manufacturing Systems, Procedia CIRP, 104: 1125-1130



### Forudsætninger

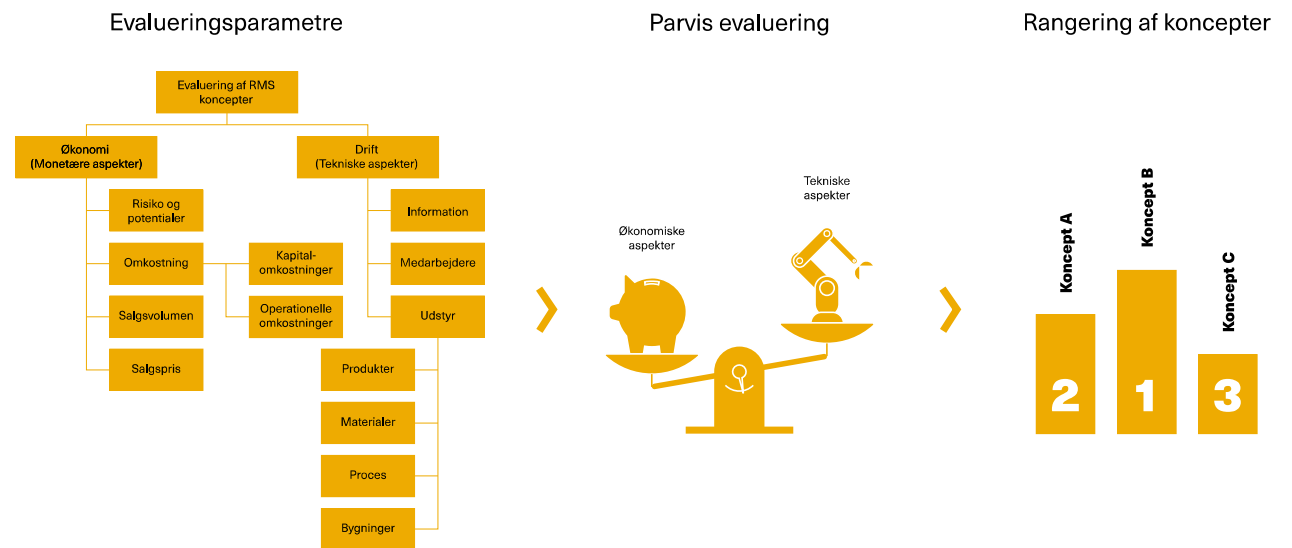
- Viden om systemkarakteristika (arkitektur, ydeevne, begrænsninger, etc.)
- Supply chain karakteristika og begrænsninger
- Produktefterspørgsel



### Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Produktionsplanlæggere
- Supply chain manager

### Sådan anvendes værktøjet



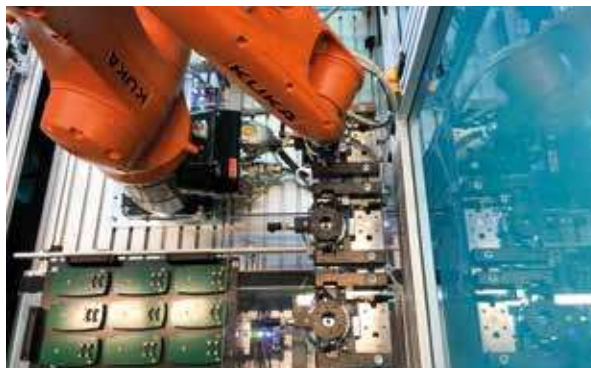
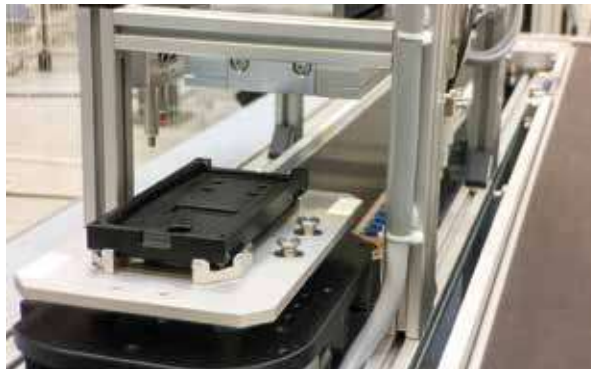
### Forventede resultater

- Resultatet fra værktøjet er en rangeret liste af de designkoncepter som er blevet evalueret.
- En relativt hurtig og simpel evaluering af designkoncepter jf. den underliggende metode der bygger på serielle parvise sammenligninger.

## 3.1 - AAU SmartLab eksempel

### Sådan virker det

Som et eksempel på et rekonfigurerbart produktionssystem i sin rene form findes Aalborg Universitets SmartLab, som er et kommercielt udviklet demonstrationssystem. AAU SmartLab er bygget af standardmoduler, som kan konfigureres og skaleres i praktisk talt uendeligt mange konfigurationer og funktionaliteten og kapaciteten af systemet kan yderligere tilpasses ved at installere forskellige moduler på standardmodulerne.



### Standard moduler

Standard modulet (platformen) i AAU SmartLab. Disse moduler er mobile og kan flyttes og sammensættes i forskellige konfigurationer og deres funktion kan tilpasses ved at tilføje forskellige procesmoduler, f.eks. automatisk produkt inspektion eller boring. De kan også sammenkøbes med andre procesmoduler, som f.eks. robotcellen.

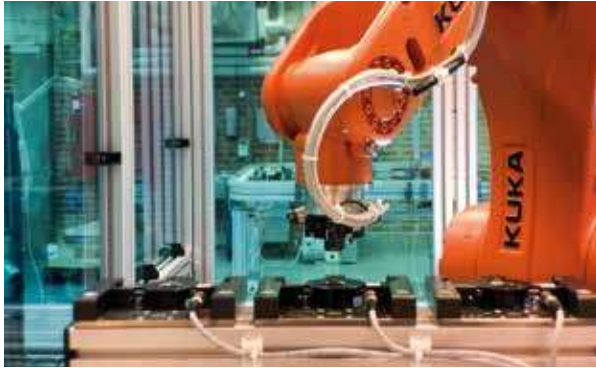
### Dedikeret udstyr

Kabinettet, som printet ligger i, er standard for produktet, og dispenserenheden er derfor dedikeret til kun at uddele den ene type kabinet. Det samme gør sig gældende for paletsystemet, som er dedikeret til det pågældende produkt.

### Fleksibelt udstyr

Selvom robotcellen overordnet set kun er designet til det ene produkt der produceres er selve robotten fleksibel i det den har mulighed for at kunne producere flere varianter af produktet, hvilket bl.a. kommer til udtryk i antal forskellige sikringer der monteres i produktet.

## 3.1 - AAU SmartLab eksempel



### Rekonfigurerbart udstyr

Robotten udfører flere forskellige opgaver bl.a. at flytte print og samle sikringer op. For at kunne udføre disse forskellige operationer er det nødvendigt med forskellige gribere, hvorfor robotten har mulighed for at rekonfigurere sin funktionalitet ved at skifte hvilken griber den benytter.



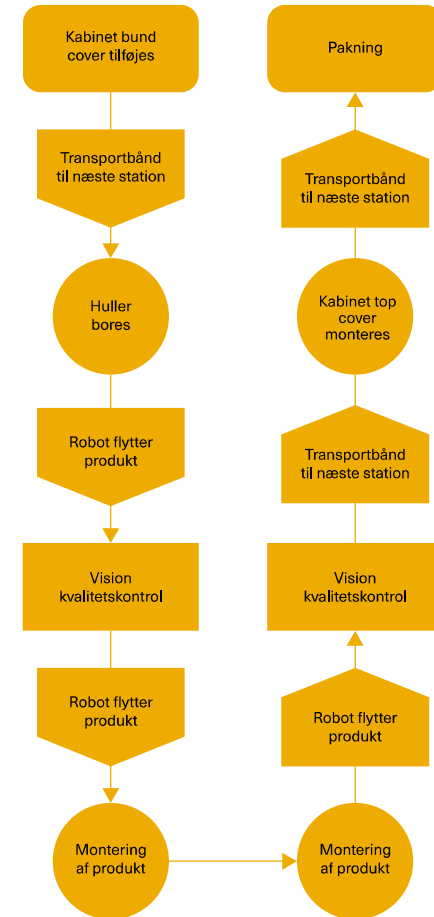
### Produktet

Produktet, som "produceres" på AAU SmartLab produktionslinjen er et elektronisk produkt bestående af kabinet under- og overdel, et printkort, og en eller to sikringer. Disse dele samles og der bores huller i printet som en del af monteringen.



### System konfiguration

Systemet er som sagt modulært og den viste konfiguration er blot en af mange mulige – afhængigt af hvilke ændrede krav til funktionalitet eller kapacitet, som ønskes af produktionslinjen.



Dette proces flow illustrerer kort hvilke processer og i hvilken rækkefølge de gennemføres i for at producere det elektroniske produkt.



## 3.2 - Detaljeret model for økonomisk evaluering af rekonfigurerbare designs

### Sådan virker det

Dette værktøj bygger på etablering af en model skræddersyet til den specifikke case, hvor fokus er på kvantitativ økonomisk evaluering af designs som er underlagt case- og industrispecifikke begrænsninger og tilhørende potentialer. Etablering af modellen forudsætter et større dataindsamlingsforløb, som f.eks. kan indeholde de elementer der er illustreret i den generiske repræsentation af modellen.

For hvert design der ønskes evalueret kræves specificifikation af en række aspekter:

- produktionsfunktionalitet og arkitekturen som dikterer hvilke moduler som varierer og hvilke som genbruges på tværs af produkt- eller komponentvarianter.
- Rekonfigurationstid og ramp-up tid mellem mulige konfigurationer samt tilvejebringelsesomkostninger
- Ressourcer og procedurer som indgår i det tiltænkte produktionsmiljø (medarbejdere, cyklostider, pladsbehov, planlægning, etc.)
- Scenarier for forskellige aftræksmønstre baseret på prognoser og/eller historisk data

### Anbefalet læsning

**Kjeldgaard, S., Jorsal, A. L., Albrecht, V., Andersen, A-L., Brunoe, T. D., Nielsen, K. 2021.**

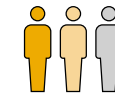
Towards a model for evaluating the investment of reconfigurable and platform-based manufacturing concepts considering footprint adaptability.

In: Procedia CIRP 104, 553-558.



### Forudsætninger

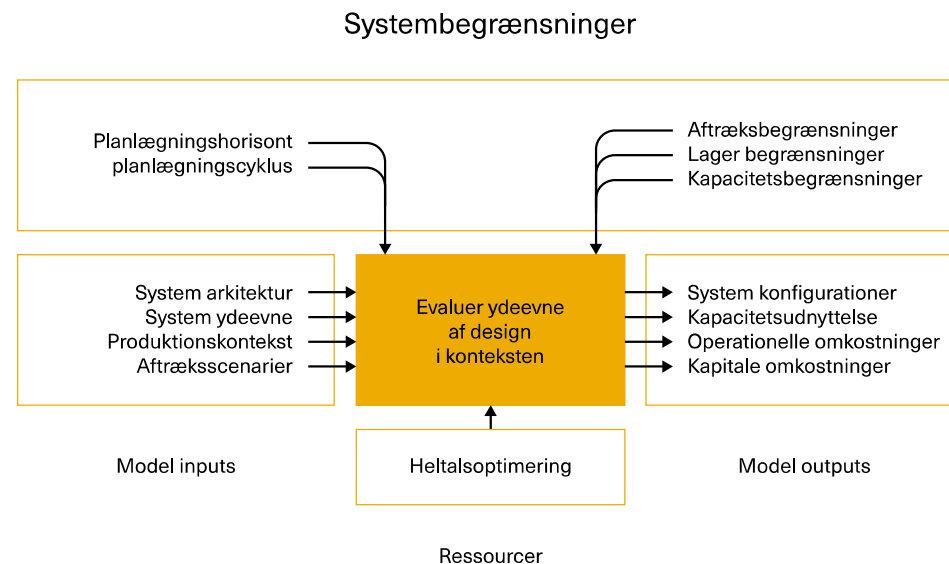
- Viden om systemkarakteristika (arkitektur, ydeevne, begrænsninger, etc.)
- Supply chain karakteristika og –begrænsninger
- Produktefterspørgsel



### Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Produktionsplanlæggere
- Supply chain manager
- Relevante stakeholders på tværs af organisationen

### Sådan anvendes værktøjet



### Forventede resultater

- Genererer nøgletal for kapitale og operationelle omkostninger samt en række operationelle parametre.
- Resultaterne fra modellen kan anvendes til at foretage delta og NPV analyser.

## 3.3 - Modulbibliotek

### Sådan virker det

Når produktionssystemer og udstyr designes med genbrug for øje er det endnu mere vigtigt at have dokumenteret designbeslutninger. Sådan information kan dokumenteres på mange forskellige måder, men indeholder typisk den samme grundlæggende information om modulerne. Der er flere formål med at dokumentere designbeslutninger for moduler i et produktionssystem. Viden om produktionsmodulers kapabiliteter kan også være nyttig for produktudviklere ift. viden om hvilke produktvariationer der kan imødekommes med eksisterende produktionsmoduler.

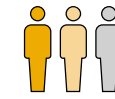
### Anbefalet læsning

**Ericsson and Erixon. 1999.** Controlling Design Variants: Modular Product Platforms. Society of Manufacturing Engineers.



### Forudsætninger

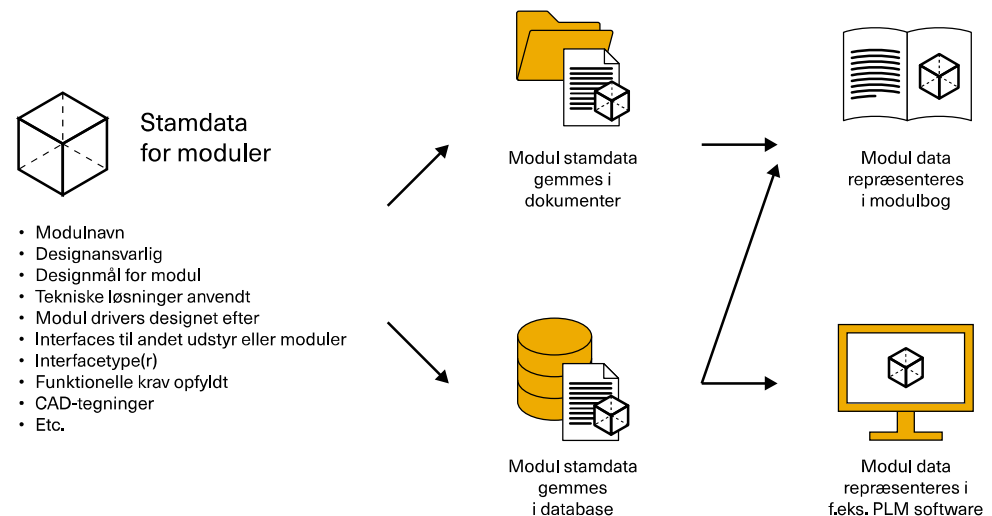
- Relevant designdata for produktionsmoduler
- Viden om produktionssystem



### Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- PLM kyndig medarbejder

### Sådan anvendes værktøjet



### Forventede resultater

- Grundigt dokumenteret stamdata, som er nem at lokalisere, faciliterer hurtigere og billigere design af nye produktionssystemer
- Dokumenteret og forankret designviden om produktionsmoduler reducerer afhængigheden af at have de samme produktionsdesignere på flere udviklingsprojekter for at høste potentialet for genanvendelse af moduler.

# 4.1 - Værktøj til klassificering af rekonfigureringer og deres idriftsættelse

## Sådan virker det

Dette værktøj kan bruges til at klassificere forskellige typer af rekonfigureringer af et produktionssystem. Overordnet set bygger dette på hvorvidt virksomheden har prøvet den specifikke konfiguration før eller ej, samt hvilken type af krav som imødekommes (kort-, mellem- eller langsigtede). For hver type vil man kunne aflede nogle støttende principper for både hardware, software og den virtuelle del af systemet. Det anbefales at tage udgangspunkt i denne type af klassificering, og udbygge hver situation med virksomhedsspecifikke guidelines og hjælpeværktøjer.



## Forudsætninger

- Viden om tidligere gennemførte rekonfigureringer i produktionen



## Medarbejdere

- Produktionsudviklere
- Produktionsledere
- Operatører med erfaring i omstillinger i produktionen

## Sådan anvendes værktøjet

Forandringer krævet i produktionssystemet

Erfaringer med produktionsændringer

		Har været foretaget	Uprøvede ændringer
	Rekonfigurering til variantændringer <b>Krav på kort sigt</b>	Udskiftning af værktøj Kalibrering	Commissionering af nyt værktøj. Foretage software opdatering
	Rekonfigurering til volumenændringer <b>Krav på mellemlang sigt</b>	Udskiftning af standardmodul Udfør ramp-up procedure	Tilføj/fjern tilpasset modul Commissionering af tilpasset modul Foretage software opdatering
	Rekonfigurering til produktændringer <b>Krav på lang sigt</b>	Udskift standardmodul Opdater software Udfør ramp-up procedure	Udskift af tilpasset modul Commissionering af nyt modul Opgrader software

## Anbefalet læsning

**Mortensen, S. T., Madsen, O. 2019.** Operational Classification and Method for Reconfiguration & Recommissioning of Changeable Manufacturing Systems on System Level. Procedia Manufacturing, 104: 1125-1130.

## Forventede resultater

- Værktøjet giver overblik over hvilke produktionsændringer organisationen har erfaring med samt hvilke omstillinger, udvidelser eller ombygninger, som endnu ikke har været foretaget med den eksisterende produktportefølje.
- Rammeværket præsenteret ovenfor kan udvides med flere guidelines for hver type rekonfigurering, for at sikre at disse udføres korrekt og hurtigt.

## 4.2 - Værktøj til forudsigelse af rekonfigureringer

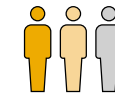
### Sådan virker det

Ved at anvende produkt og produktionsdata i samspil med machine learning forudsiger værktøjet behovet for bemanning på forskellige arbejdsstationer i produktionen med henblik på at balancere procestider. Konkret tager værktøjet udgangspunkt i produktkarakteristika, som er relevante for produktionstiden, for alle de produktvarianter der er produceret over en given periode. Dette sammenholdes med historisk produktionsdata over hvor lang tid hver delproces har taget. Denne viden gør værktøjet i stand til at estimere hvor lang tid en given manuel proces bør tage i forhold til hvordan produktvarianten ser ud og kan dermed også anvendes til at estimere procestiden for nye varianter.



### Forudsætninger

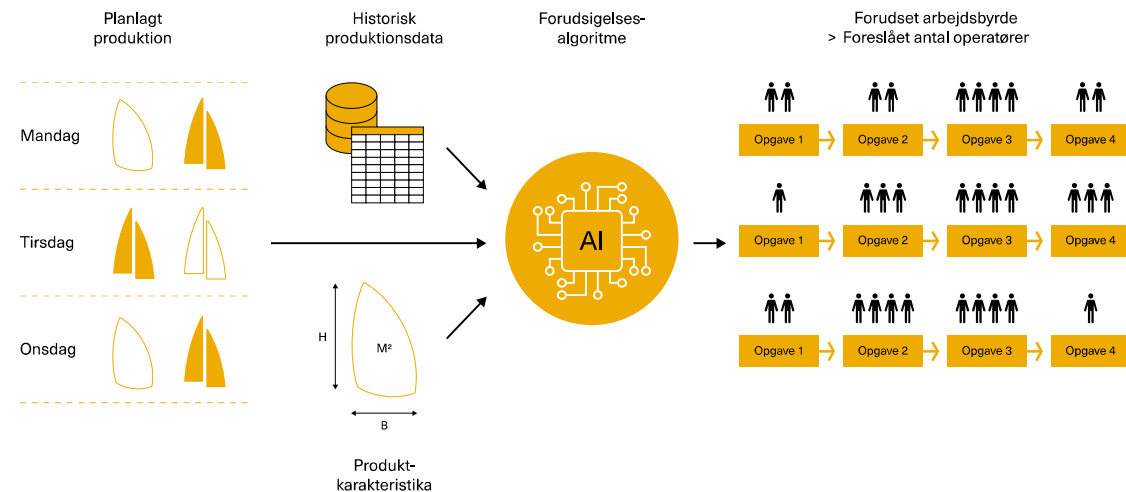
- Viden om produktkarakteristika
- Data for historiske produktionstider for alle relevante delprocesser
- Produktionsplan



### Medarbejdere

- Produktudviklere
- Produktionsledere
- Produktionsplanlægger

### Sådan anvendes værktøjet



### Forventede resultater

- Ved mere retvisende at forudse arbejdstiden for specifikke delprocesser i produktionen, afhængigt af hvilken produktvariant der produceres, kan ventetider mellem processer forårsaget af en ubalanceret bemanning nedbringes, hvilket giver en hurtigere gennemløbstid i produktionen.
- Mere præcise estimater på forholdene mellem produktkarakteristika og produktionstid er værdifuld information til omkostningsberegning for nye produktvarianter.

## 4.3 - Simulering af det rekonfigurerbare produktionssystem

### Sådan virker det

Selvom udvikling af en simuleringmodel for et produktionssystem kan være en ressourcekrævende opgave, forbedres business casen for sådanne modeller til rekonfigurerbare produktionssystemer grundet deres fokus på genanvendelse af moduler. Dette kan også overføres til simuleringmodeller, hvor virtuelle produktionsmoduler og deres funktioner og ydeevne kan modelleres. Muligheden for at genbruge produktionsmoduler i forskellige sammensætninger er hensigtsmæssigt når man ønsker at evaluere kapaciteterne af en ny produktionskonfiguration inden denne foretages. Simulering af rekonfigurationer giver med andre ord mulighed for at evaluere produktionssystemet og afprøve eventuelle alternative konfigurationer på forhånd. Dette kan bidrage til at øge tilliden blandt såvel operatører som produktionsledelsen til funktionaliteten og ydeevnen af en ny systemkonfiguration.

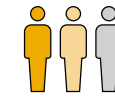


**Ekstra materiale tilgængeligt online:**  
[vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse](http://vbn.aau.dk/da/datasets/rekon-værktøjskasse)



### Forudsætninger

- Viden om produktionssystemets opbygning
- Viden om udstyr og dets funktionalitet og ydeevne

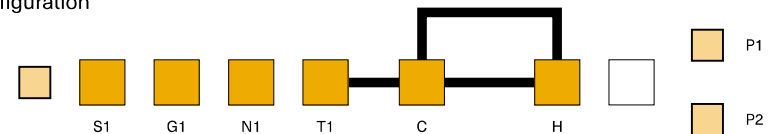


### Medarbejdere

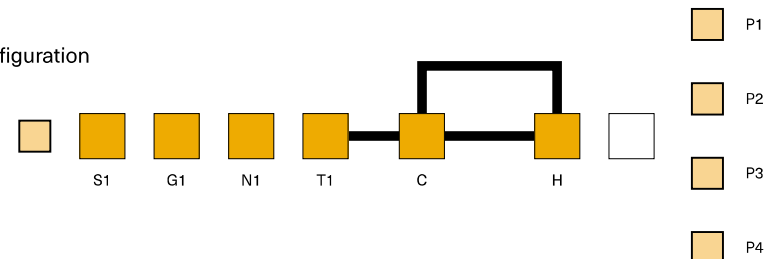
- Procesingeniør
- Produktionsledere
- Operatører med erfaring med berørte processer
- Simuleringsekspert

### Sådan anvendes værktøjet

Nuværende produktionskonfiguration



Alternativ produktionskonfiguration



### Forventede resultater

- Simulering af forskellige aftræksmønstre og produktmix for en given produktionskonfiguration giver indblik i eventuelle behov for ændringer i produktionen for at imødekomme krav til ydeevne eller funktionalitet.

# Anbefalet læsning

## **The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems**

Koren, Y., 2010, John Wiley & Sons, Inc., 978-0-470-58377-7

## **Handbook Factory Planning and Design**

Wiendahl, H.-P. Reichardt, J. and Nyhuis, P., 2015, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 978-3-662-46390-1

## **Production Development: Design and Operation of Production Systems**

Bellgran, M. and Säfsten, K., 2010, Springer-Verlag London Limited, 978-1-84882-494-2

## **Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation**

Wiendahl, H.-P. et al., 2007, CIRP Annals, Vol. 56, 2, Elsevier

## **Evolution and Future of Manufacturing Systems**

EIMaraghy, H. et al., 2021, CIRP Annals, Vol. 70, 2, Elsevier

## **Product Variety Management**

EIMaraghy, H. et al., 2013, CIRP Annals, Vol. 62, 2, Elsevier



[www.rekon.dk](http://www.rekon.dk)  
For kontaktoplysninger se den officielle REKON hjemmeside



[www.youtube.com/@rekon\\_aau](http://www.youtube.com/@rekon_aau)



[www.linkedin.com/company/rekon-aau-ti](http://www.linkedin.com/company/rekon-aau-ti)

# Nye veje til omstillingsparat og rekonfigurerbar produktion

Denne bog er for dig der arbejder med udvikling af produktionssystemer og som ønsker en konkret guide til, hvordan disse kan designes til at imødekomme fremtidens usikre markedskrav - uanset om det er udsving i volumen af efterspørgsel, uforudsigelighed i produktvarianter, eller helt nye produktfamilier. Bogen giver dig:

- En introduktion til grundprincipperne bag rekonfigurerbare, modulære og platformsbaserede produktionssystemer.
- En videnskabeligt funderet metode til udvikling af rekonfigurerbare produktionssystemer.
- Konkrete værktøjer til at analysere eksisterende kapabiliteter, udvikle nye koncepter, samt evaluere disse.
- Cases fra danske og svenske produktionsvirksomheder i alle størrelser og industrier.



**SDU** 



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

**INDUSTRIENS FOND**

**REKON Press**

ISBN (Print): 978-87-974066-0-1  
ISBN (Electronic): 978-87-974066-1-8