

Energistyrelsen

Produktionsoptimering, logistik og energieffektivitet

Hovedrapport

Juli 2003

Energistyrelsen

Produktionsoptimering, logistik og energieffektivitet

Hovedrapport

Juli 2003

Dokument nr. 54171-1
Revision nr. 3
Udgivelsesdato 24.07.03

Udarbejdet MOU
Kontrolleret HDA
Godkendt PMP

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Baggrund, sammenfatning og konklusion	4
2.1	Energieffektivitet og produktivitet	4
2.2	Resultater	6
2.3	Konklusion	8
2.4	Anbefalinger	10
3	Videnindsamling	11
3.1	Produktionsfilosofier	11
3.2	Problemstillinger	14
4	American Tool A/S	30
4.1	Virksomhedsbeskrivelse	30
4.2	Produktivitet	31
4.3	Energibesparelser	32
4.4	Fremtidig produktivetsforøgelse og energibesparelse	34
5	Aarhus Oliefabrik A/S	35
5.1	Virksomhedsbeskrivelse	35
5.2	Produktion	36
5.3	Produktivitet	37
5.4	Flaskehalse	39
5.5	RCM-analyse af vedligehold på DOZC-valsene	40
5.6	Energibesparelser	41
6	Andre cases	43
6.1	Aarhus Oliefabrik A/S	43
6.2	Danpo A/S	44

7	Energi & Produktionsaudit	45
7.1	Energi og energieffektivitet	45
7.2	Metodik	49
7.3	Definitioner	55

Bilagsfortegnelse

Bilag 1

1 Indledning

Denne hovedrapport sammenfatter resultaterne af det kortlægnings- og analysearbejde, der er gennemført med henblik på at undersøge produktivitetsforbedrende tiltags indvirkning på energiforbruget i produktionsvirksomheder. Projektets specifikke formål har været:

- at vurdere erfaringer med produktionstekniske analysemetoder i forhold til branche- og virksomhedstyper og i forhold til de erfaringer, der op gennem 90'erne er gjort på energiområdet.
- at foretage produktionstekniske og energimæssige analyser i 2 mellemstore virksomheder inden for 2 forskellige brancher, for eksempel plastindustri og procesindustri.
- at måle og godtgøre de energibesparelser der opnås gennem bedre produktionsrettelæggelse, vedligehold m.m. i 2 virksomheder - såvel som de produktivitetsforbedringer, der opnås som følge af en målrettet fokus på energibesparelser.
- at generalisere de opnåede erfaringer rent metodemæssigt over for de udvalgte brancher og virksomhedstyper m.m.

Projektets resultater er baseret på en generel videnindsamlingsdel samt to case-studier på henholdsvis en stykproducerende virksomhed, American Tool A/S (håndsåve), og en procesvirksomhed Aarhus Oliefabrik A/S (vegetabiliske olier og fedtstoffer).

Projektet er udført i perioden 1. august 2001 til 30. juni 2003 med COWI som udførende projektkonsulent i samarbejde med driftspersonale på de to involverede virksomheder.

Projektets finansiering er baseret på 50% direkte tilskud fra Energistyrelsen, 43% egenindsats hos de involverede projektparter og 7% direkte honorarbetalning fra de to casevirksomheder.

Foruden nærværende rapport består projektet af case-rapporterne "Produktionsoptimering, logistik og energieffektivitet" hos American Tool A/S, udgivet maj 2002 samt "Produktionsoptimering af ekstraktionslinje" hos Aarhus Oliefabrik A/S, udgivet i juni 2003.

2 Baggrund, sammenfatning og konklusion

Der er i løbet af 90'erne foretaget omfattende analyser af energiforbruget i danske industrivirksomheder og herunder afdækket og realiseret ganske betydelige besparelser.

Indsatsen har gennemgående været præget af en energiteknisk og analytisk tilgang til emnet, men en stadig stigende opmærksomhed over for menneskelige og organisatoriske forhold har gradvist ført frem "energiledelse" som et centralt begreb i den nuværende indsats.

Desuden er grænseflader til beslægtede indsatsområder i industrien gradvist taget i betragtning, for eksempel ledelsessystemer inden for miljø, kvalitet, vedligehold m.m.

På trods af denne stadig mere holistiske indgang til energibesparelser har der ikke tidligere været fokus på begreberne "produktionsoptimering" og "logistik" og disses centrale betydning for energieffektiv drift af industrianlæg.

Dette dels på trods af at sådanne indsatsområder teknisk såvel som ledelsesmæssigt/organisatorisk har endog meget store overlap til aktiviteter på energiområdet; det er flere gange erfaret at energieffektivisering direkte har kunnet øge produktiviteten i et givent industrianlæg.

For det andet kunne en succesfuld integration af "energieffektivitet" og "produktivitet" være en endog meget væsentlig løftestang til de fortsatte aktiviteter inden for energieffektivisering i industrien som følge af de for industrien meget væsentlige potentielle følgegevinster.

2.1 Energieffektivitet og produktivitet

Det er et alment accepteret forhold at en meget stor del af dansk industri i dag kun opnår en reel kapacitetsudnyttelse (OEE) af størrelsesordenen 50% - med det resultat at såvel proces- som hjælpeanlæg en stor del af tiden "forbruger" energi, der reelt ikke resulterer i salgbare produkter.

Standarden for "World Class Manufacturing" tilsiger i dag OEE-værdier af størrelsesordenen 85-90%, hvilket umiddelbart angiver at det specifikke energiforbrug pr. produceret enhed teoretisk kan reduceres med i størrelsesordenen 30-40% - alene ved at forbedre driften af det eksisterende produktionsudstyr.

Medens de helt store og større danske virksomheder har været opmærksomme på disse forhold op gennem 90'erne, står den store andel af mellemstore og mindre danske virksomheder fremover over for betydelige udfordringer i retning af at optimere produktionsudstyr og driftsorganisation til en mere effektiv ressource- og kapacitetsudnyttelse.

Der vurderes som antydnet ovenfor at være et stort energibesparelspotentiale ved at fokusere på begrebet "produktionsoptimering" inden for energieffektivisering.

2.1.1 Tab i produktivitet

En gennemgående angrebsvinkel for at sikre en høj produktivitet OEE (**O**verall **E**quipment **E**fficiency) for et produktionsanlæg er systematisk at fokusere på alle former for tabt produktivitet ("spild") i produktionen, for eksempel:

- driftsstop som følge af:
 - produkt-/formsift og omstilling af maskiner
 - fejlfunktion af maskiner
 - svigtende råvare- og materialetilgang (flaskehalse)
 - vedligeholdsarbejde
- kassation eller ombearbejdning af produkter
- "overforædling" af produkter i forhold til kundekrav (behovsanalyse)

Specielt "driftsstop" anses i dansk industri for at være en ganske betydelig tabsparameter. Dansk Vedligeholdelsesforening har således opgjort at der årligt tabes op mod 40 mia. kr. i dansk industri alene på grund af ufuldstændigt vedligehold af produktionsanlæg.

Det er derfor også erfaringen at en systematisk kortlægning af driftstider, omstillingstider m.m. på maskiner og produktionsanlæg oftest afdækker en overraskende lav OEE med et ganske betydeligt optimeringspotentiale.

Dette er dels gældende i stykproducerende virksomheder (jern- og metal, plast m.fl.), men også procesindustrien (fødevarer, kemi, farmaceutisk m.fl.) har et ganske betydeligt forbedringspotentiale.

I et nyere COWI-projekt på Aarhus Oliefabrik A/S (under Energistyrelsen og F.R.Is rammeprogram for energibevidst projektering) er der således opnået en 50% reduktion af et filtreringsanlægs pumpebehov ved at fokusere på reduktion af tomgangstider. OEE for dette anlæg har således kun ligget på i størrelsesordenen 30-40% før optimeringen.

2.2 Resultater

Resultaterne fra casevirksomhederne American Tool A/S og Aarhus Oliefabrik A/S viser entydigt at produktivetsforbedringer kan medføre en markant og endog meget attraktiv og rentabel reduktion i energiforbruget.

De 2 virksomheder repræsenterer umiddelbart 2 forskellige og almindeligt fremherskende problemstillinger:

- En virksomhed (American Tool), hvor den samlede produktion ønskes forøget og hvor enhver produktivetsforbedring medfører at "tomgangstid" nyttiggøres til produktion.

På en sådan virksomhed vil man alene se en reduktion af det specifikke energiforbrug i og med produktionstiden reelt øges og tomgangstiden reduceres.

- En virksomhed (Aarhus Olie A/S), hvor produktivetsforbedringer ikke umiddelbart nyttiggøres til større produktion.

På en sådan virksomhed må man alene forvente at se en reduktion af den samlede driftstid og dermed en reduktion i det absolutte energiforbrug.

I det følgende uddybes disse resultater.

2.2.1 American Tool A/S

Hos American Tool har formålet med forøgelse af produktiviteten været at øge produktionen ved at fokusere på følgende indsatsområder:

- Ved minimering af produktionsstop, såvel planlagte som uplanlagte stop inden for den tilgængelige tid.
- Tilpasning og reduktion af cyklustider i kritiske delprocesser med henblik på at forøge den samlede produktionskapacitet.

Projektet er mundet ud i en produktivetsforbedrende strategi, der strækker sig over 5 faser, hvoraf de første 3 er rettet mod at forøge produktionstiden fra de observerede 37,3 min./time til 56 min./time med en produktivetsstigning på 50% til følge. De to sidste faser er rettet mod at nedbringe cyklustiden fra først 3,49 sek./emne til 3,0 sek./emne og ultimativt til 2,18 sek./emne med en total produktivetsstigning på 140% til følge. De 2,18 sek./emne kan kun nås ved en meget vidtgående indgriben i det eksisterende produktionsanlæg og radikale ændringer af logistik, produktionsgange og maskineri.

Det realiserede resultat målt over en 8 ugers periode har været en forøgelse af produktionstiden til 48,27 min./time, svarende til en realiseret produktivetsforøgelse på 29,3%.

Denne produktivetsforøgelse har medført en reduktion i det specifikke energiforbrug på henholdsvis 29,8% for elektricitet og 16,3% for naturgas. Derudover er det specifikke vandforbrug reduceret med 29,0% og varmtvandsforbruget med 27,6%.

Der har ikke været nogen nævneværdige investeringer forbundet med de gennemførte produktivetsforbedringer.

OEE er efter den realiserede produktivetsforøgelse steget til 65%, hvilket indikerer at der stadig er et særdeles stort potentiale for at forbedre produktiviteten og opnå en yderligere reduktion af det specifikke energiforbrug.

2.2.2 Aarhus Oliefabrik A/S

Hos Aarhus Oliefabrik har det primære formål med gennemførelse af produktionsoptimeringsprojektet været at afdække mulighederne for forøgelse af produktionen såvel som mulighederne for egentlig rationalisering af olieproduktionen i ekstraktionslinien.

På Aarhus Oliefabrik er der ikke realiseret egentlige produktivetsforbedringer i forbindelse med projektet på fabrikkens ekstraktionslinie. Derimod er der foretaget en gennemgribende analyse af potentialet for produktivetsforbedringer og disses indvirkning på energieffektiviteten.

Kortlægning af produktions- og energidata har vist at OEE for sheolie- og rapsolieproduktion i 2002 har været henholdsvis 64,0% og 66,0%. Den primære årsag til disse lave OEE-værdier er en lav præstationsrate, ca. 76%, og sekundært en tilgængelighed på ca. 86%.

Potentialet for at øge produktiviteten (OEE) er stort. En realistisk målsætning for Aarhus Oliefabrik vil være en OEE på 75%, hvilket vil betyde enten frigivelse af ca. 1½ måneds produktionstid eller en merproduktion på ca. 42% mere rapsolie til videresalg.

Forbedret drift og vedligehold (RCM) er fundet at være den helt centrale parameter i at forbedre udnyttelsen af anlægget. En RCM-analyse på DOZC-valse viser alene besparelspotentiale på 167.000 kr./år og en reduktion i tid brugt på vedligehold på 336 timer.

Såfremt det angivne potentiale for at forbedre anlægsudnyttelsen realiseres (OEE = 75%), vil Aarhus Oliefabrik A/S opnå en direkte energibesparelse (såfremt driftstiden reduceres) på 624.000 kWh/år el og 8.500 GJ/år varme, svarende til varmeindholdet i 240.000 Nm³ naturgas (90% virkningsgrad). Driftsbesparelsen andrager ca. 750.000 kr./år.

Såfremt potentialet udnyttes til merproduktion ved fastholdt samlet driftstid, vil det specifikke energiforbrug reduceres med 9-10% for el og 7-9% for varme.

2.3 Konklusion

Det må ud fra projektets resultater konkluderes at optimering af produktivitet i industrien kan udgøre en særdeles effektiv og en for industrien attraktiv vej til videre optimering af energiforbruget - absolut såvel som specifikt.

2.3.1 Videnindsamling og begreber

Der er gennem videnindsamlingen kortlagt en lang række metoder og begreber inden for "produktionsoptimering", men det er sammenfattende konklusionen at begreber som oppetid, tilgængelighed, anlægsudnyttelse og OEE er de centrale emner i relation til reduktion af energiforbruget.

Groft sagt handler det - i relation til at effektivisere energiforbruget - om at reducere tomgangsdrift og produktionsstop og udnytte produktionsanlægget mest muligt.

Begreber som "Lean manufacturing" m.m. og "reduktion af tab" kan være relevante i og med at metoder på dette område alle fokuserer på at minimere overflødige aktiviteter og tab. Igen er det dog OEE-begrebet, der fremstår som den centrale størrelse i relation til energiforbruget.

2.3.2 Potentialet i dansk industri

Det vurderes af talrige uafhængige kilder at potentialet for at optimere produktionen i dansk industri er ganske betydeligt, og det er således også COWIs erfaring at der er store potentialer, se nedenstående tabel.

Virksomhed	Beregnet OEE (%)	Indsatsområde
Farmaceutisk		
- fermentering	75	Produktionsplanlægning
- fylde/pakkeanlæg	35	Drift & vedligehold/RCM
Plast		Drift & vedligehold/RCM
	65	Produktionsplanlægning
Fødevarer	50	Generel trimning/flaskehalse
Proces	45	Produktionsplanlægning
Nydelsesmidler	40	Drift og vedligehold/RCM

Tabel 1 Udvalg af COWIs erfaringer med produktionsoptimering.

I forhold til de oppetider, der ses i de absolut førende virksomheder inden for "World Class Manufacturing" (OEE på 85-90%), fremgår det af ovenstående at der er endog store forbedringspotentialer i mange danske virksomheder.

Et springende punkt er dog, som antydnet ovenfor, om virksomheden kan se direkte økonomiske udbytter ved at optimere produktiviteten, det vil sige:

- Om den samlede produktion ønskes forøget, således at enhver produktivtetsforbedring medfører at "tomgangstid" nyttiggøres til produktion.

På en sådan virksomhed vil man alene se en reduktion af det specifikke energiforbrug i og med at produktionstiden reelt øges og tomgangstiden reduceres. Men virksomheder i denne situation vil være stærk motiverede grundet det meget direkte økonomiske gevinst via en øget afsætning.

- Om den samlede produktion ikke skal øges og hvor produktivtetsforbedringer derfor ikke umiddelbart nyttiggøres til større produktion.

På sådanne virksomheder vil der være mulighed for at nedlægge "2. skift om fredagen" m.m., således at der direkte opnås en lavere driftstid og dermed en absolut reduktion af energiforbruget.

Mange virksomheder i denne kategori vurderes dog kun at være begrænset motiveret grundet skepsis over for hvad der egentlig spares.

Det skal understreges at produktivtetsforbedringer altid er et aktuelt spørgsmål i industrien og at motivationen med hensyn til denne form for energibesparelser derfor altid vil være høj.

2.3.3 Metoder og indsatser

Det vurderes ud fra de opnåede erfaringer i projektet at de centrale indsatser for at øge produktiviteten i første række er:

- 1 Generel trimning og optimering af produktionsanlægget ud fra en detaljeret kortlægning og analyse af stoptider og fejlårsager, flaskehalse, intern logistik m.m.

Et ikke uvæsentligt spørgsmål er produktionsstyring og opfølgning på nøgletal. Her kan specielt organisationsformen og de menneskelige ressourcer (TPM m.m.) spille en meget afgørende rolle i forhold til at højne OEE.

Casen hos American Tool har været båret af sådanne tiltag og ikke af mere raffinerede produktionskoncepter/filosofier.

- 2 Optimering af vedligehold - især øget brug af forebyggende og tilstandsbaaseret vedligehold (RCM, TPM m.m.) - vil hurtigt bidrage væsentligt til øget opetid på kritisk udstyr.

Som under 1) er der også her tale om at udnytte de "lavthængende frugter" frem for at implementere mere raffinerede produktionsfilosofier.

Casen hos Aarhus Oliefabrik viser at forbedret vedligehold og reduktion af uforudsete havaribaserede stop vil kunne højne OEE betydeligt.

- 3 Optimeret produktionsplanlægning med henblik på at minimere antal "receptskift" og omstillinger er helt afgørende for mange virksomheders potentiale for at øge produktiviteten.

Tilpasning af batchstørrelser og variationen/bredden af produktsortimentet er i den forbindelse meget væsentlige indsatsområder.

2.4 anbefalinger

Det anbefales samlet set at Energistyrelsen i sit arbejde for at højne energieffektiviteten i dansk industri fremover - om muligt - fastholder et stærkt fokus på "produktionselementet" i energieffektivitet og om muligt fortsætter med at gennemføre demonstrationsprojekter og formidlingsopgaver på området.

Det skyldes:

- at der kan opnås ganske store energibesparelser ved en sådan indsats med en god samfunds- og virksomhedsøkonomi til følge
- at industrien vil være meget interesseret i at gennemføre undersøgelser på dette område

Det anbefales desuden at Miljøstyrelsen orienteres om erfaringerne og opfordres til at undersøge lignende angrebsvinkler på miljøområdet - en række af gevinsterne i dette projekts 2 cases ligger således umiddelbart inden for Miljøstyrelsens interessesfære.

3 Videnindsamling

Formålet med en videnindsamlingsdel har først og fremmest været at afdække området produktion og produktivitet med hensyn til terminologi, produktionsfilosofier og konkrete problemstillinger og disses indflydelse på energieffektiviteten.

3.1 Produktionsfilosofier

Siden starten af 1970'erne er der blevet lanceret et hav af produktionsfilosofier med forskellige indgangsvinkler til optimering af virksomhedsdrift, produktionsprocesser, logistik m.m.

I "En oversigt over produktionsfilosofier" af Professor John Johansen, Aalborg Universitet, og Kresten Kragh-Schmidt, Handelshøjskole Syd, gives en oversigt over de 17 væsentligste produktionsfilosofier, der er blevet lanceret siden 1970'erne. For en uddybende beskrivelse af de enkelte produktionsfilosofier henvises til oversigtens detaljerede litteraturliste for hver filosofi.

En liste over disse 17 produktionsfilosofier med tilhørende kort beskrivelse af filosofiens fokusområde og indgangsvinkel findes i bilag 1.

I nærværende afsnit gives der kun en kort introduktion til de 3 filosofier, der skønnes relevante for dansk industri (få store, mange mellemstore virksomheder) i forhold til dette projekts fokus på produktivitet og energieffektiviseringer.

3.1.1 Dansk industri

Dansk industri er primært kendetegnet ved få store virksomheder og mange mellemstore virksomheder, hvor det at indføre en helt specifik produktionsfilosofi oftest vil være en for ressourcekrævende proces set i forhold til virksomhedens størrelse.

Derfor vil det oftest i første omgang være relevant at kigge på om der er dele af ovenstående produktionsfilosofier, der kan implementeres i virksomheden.

Med henblik på at reducere energiforbrug vil det være mest hensigtsmæssigt at kigge på de filosofier, der tager sigte på at reducere ressourceforbrug og spild

samt de filosofier, der fokuserer på at øge oppe-tiden på produktionsanlægget og dermed reducere energitab ved tomgangsdrift.

De 3 produktionsfilosofier, der vurderes bedst egnede til at opnå disse mål er henholdsvis TPM og TQM (begge delkomponenter under den vidtfavnende Just In Time produktionsfilosofi) og Lean Production.

3.1.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Udviklingen af TPM-konceptet, der fokuserer på forebyggende vedligehold, blev startet i Japan, primært af Toyota, i slutningen af 1960'erne. Konceptet bygger på nogle meget enkle grundlæggende holdninger til sund fornuft, systematik og vedholdenhed samt en naturlig holdning til, at man arbejder med forbedringer i sit arbejde hver eneste dag.

Helt specifikt er målet med TPM at opbygge et totalt systematisk vedligeholdelsessystem, hvor der indlægges planlagt tid til vedligeholdelse af maskiner og udstyr. TPM er hermed proaktiv i forhold til udelukkende at vedligeholde, når maskinen bryder sammen ("brandslukning"). Denne proaktive angrebsvinkel på vedligeholdet er hvad vi i dag forstår ved forebyggende vedligehold.

TPM-konceptet kan kort beskrives på følgende vis:

- Systematik - sikring af at forbedringer standardiseres og fastholdes
- Vedholdenhed - fordi der går op mod 3 år før resultaterne kommer
- Fokus på spild i alle handlinger - spild skal væk
- Selvdisciplin - ledelsen skal gå forrest
- Enkelhed - TPM er enkelt del for del
- Løbende forbedringer via teams - løbende forbedringer bygger på team kultur
- Samarbejde - fordi ingen store koncepter lykkes uden samarbejde.

Hvorfor TPM?

Fordi forebyggende vedligehold er den væsentligste faktor til at minimere havari og de uplanlagte stop i virksomheden, der fører til tab af produktionstid og dermed forringelse af produktiviteten.

Energi

Reduktion af uplanlagte stop og nedetid medfører reduktion af tomgangsdrift, og reducerer produktionslokalernes benyttelsestid, hvilket medfører reduceret energiforbrug til tomgangstab, lys, varme/kulde, ventilation m.m.

3.1.3 Total Quality Management (TQM)

Udviklingen af TQM-konceptet, der fokuserer på kvalitet, er ligeledes sket i Japan. Konceptet bygger på en kultur- og menneskeorienteret filosofi, hvor der er fokus på medarbejdernes holdning til den totale kvalitet i virksomheden. Således fokuserer TQM på at opnå total kvalitet, ikke kun ved at øge kvaliteten på selve produktet, men også ved at forbedre de processer og aktiviteter, der er med til at frembringe og levere produktet til slutkunden. Alle medarbejdere er involveret i denne proces.

Helt specifikt er målet med TQM at producere fejlfri produkter allerede første gang. Hermed undgås de omkostninger, der er forbundet med at producere et defekt produkt, finde fejlen (kvalitetskontrol) og endelig udbedring af fejlen. Alt sammen unødvendige og fordyrende elementer også set i forhold til kunden.

TQM-konceptet kan kort beskrives på følgende vis:

- Sikre at alle arbejder med de aktiviteter, der opfylder virksomhedens mission
- Forbedre kvaliteten af arbejdet, der leveres videre - både internt og eksternt
- Eliminere spild fremkommet ved mangelfuld kvalitet i første arbejdsgang
- Få synergieffekter ud af medarbejdernes færdigheder ved brug af teams
- Tilfredsstille slutkunderne

Hvorfor TQM?

Fordi god kvalitet af selve slutproduktet giver tilfredse kunder og fordi løbende forbedring af kvaliteten i processen er en væsentlig faktor til kontinuerligt at minimere spild i form af defekter og de afledte omkostninger til fejlfinding og udbedring af fejlen.

Energi

Reduktion af antallet af defekter medfører en direkte reduktion af det energiforbrug, der medgår til selve fremstillingen af defekterne samt energiforbruget til genanvendelse eller bortskaffelse af det defekte produkt. Derudover reduceres benyttelsestiden af produktionslokaler, hvilket medfører reduceret energiforbrug til lys, varme/kulde, ventilation m.m.

3.1.4 Lean Production

Lean Production, der på dansk kan kaldes "Trimmet Produktion", opstod i forbindelse med et amerikansk forskningsprojekt omhandlende den internationale bilproduktion. Konceptet blev udviklet i sidste halvdel af 1980'erne.

Lean Production fokuserer på at producere med så få ressourcer som muligt. Helt enkelt gælder det om at undgå spild, hvilket blandt andet er alle slags overflødige aktiviteter, unødvendige lagre, materialespild og energispild.

Et særkende ved Lean Production er at filosofien ikke kun omfatter den egentlige produktion, men også de teknisk-administrative processer i en virksomhed samt produktion set i sammenhæng med leverandører og kunder. Hele værdikæden omkring produktet fra start til slut er i fokus.

Lean Production bygger på følgende 5 grundlæggende principper:

- 1 Specificér hvad der skaber og hvad der **ikke** skaber værdi set fra kundens synspunkt og ikke fra virksomhedens eget eller for den sags skyld de enkelte afdelingers eget synspunkt.
- 2 Identificér alle nødvendige skridt for at designe, ordre og producere et produkt på tværs af hele værdikæden med henblik på at afdække ikke værdiskabende spild.
- 3 Lav de ting, der skaber værdistrømme uden afbrydelser, omveje, tilbageskridt, ventetid og kassation.
- 4 Lav kun hvad kunderne har ordret, det vil sige producer efter trækprincippet.
- 5 Stræb efter perfektion ved kontinuerligt at fjerne spild, når dette opdages.

Ovenstående principper er helt fundamentale for at eliminere spild både internt i virksomheden og imellem virksomheder (leverandører, producent og kunder).

Hvorfor Lean?

Fordi kontinuerlig eliminering af alle former for spild fra leverandør over producent til kunder fører til en proces, der ganske enkelt er optimal.

Energi

Reduktion af spild fjerner alle unødvendige energiforbrug i virksomheden og giver således den mest energieffektive produktion.

3.2 Problemstillinger

Det måske vigtigste element i videnindsamlingen har været at foretage en konkretisering af de problemstillinger, der forekommer ude i produktionsvirksomhederne inden for området produktion og produktivitetsforbedringer og disses relation til energiforbrug og energieffektiviseringer.

Konkretiseringen af produktionsvirksomhedernes problemstillinger tager udgangspunkt i en overskrift for den aktuelle produktionsparameter eksempelvis "omstillingstid", hvorpå der gives en generel kommentar. Såfremt der er særlige forhold, der gør sig gældende for denne produktionsparameters betydning i henholdsvis en stykproducerende virksomhed og en procesvirksomhed gives en nærmere redegørelse herfor.

Først gives der dog indsamlede eksempler på problemstillinger fra virksomhedstyper og brancher efterfulgt af en definition af spild.

3.2.1 Observerede problemstillinger

Nedenfor gives en række eksempler på reelt forekommende problemstillinger ude i industrien.

Farmaceutisk virksomhed 1:

Produktionsplanlægning er problematisk fordi sikre salgsprognoser er vanskelige at udføre. De usikre salgsprognoser medfører store lagerbindinger, da mangel på produkt er katastrofalt i denne branche. Ekstraordinære receptskift og dermed ekstra rengøring.

Farmaceutisk virksomhed 2:

Store problemer med havari og defekte emner giver meget lav udnyttelse af produktionskapaciteten og OEE-tal helt ned til 25%.

Korn- og foderstofindustri:

Store problemer med mange daglige omstillinger/receptskift og deraf følgende lange stilstandsperioder og tomgangsdrift.

Jern og metal:

Mange omstillinger og havarier fører til megen nedetid og dermed lav udnyttelse af produktionskapaciteten, ensbetydende med lave OEE-tal.

Plastindustri:

Ikke optimeret produktionsplanlægning medfører for mange omstillinger og ventetid på procesudstyr. Vedligeholdelsesproblemer fører til havarier og nedetid.

Konfektionsvirksomhed:

Meget bredt produktsortiment giver store lagerbindinger og besværliggør produktionsplanlægningen. Vedligeholdelsesproblemer fører til havarier og nedetid.

Fødevarerindustri:

Uhensigtsmæssigt fabrikslayout med deraf følgende megen intern transport.

Ingeniøren Net 20/9 2002:

Ny benchmark mellem 64 danske og 2.000 amerikanske virksomheder viser at danske virksomheder binder 3 gange så mange ressourcer i varelagre og bruger 3 gange så lang tid om at fremstille varerne. Lean Manufacturing - undgå spild og unødvendige processer!!!

3.2.2 Spild

Det siger sig selv at spild er en problemstilling de fleste virksomheder er nødt til at tage særdeles alvorligt, da spild er lig med tab. Normalt forbinder vi spild med kassation på grund af mangelfuld kvalitet, men japaneren Shigeo Shingo identificerede i forbindelse med udvikling af the Toyota Production System følgende 7 typer af spild eller muda på japansk:

Spildtype (muda)	Beskrivelse
Overproduktion	Produceret for meget for tidligt \Rightarrow dårligt informations-flow eller vare-flow og opbygning af lagre
Defekter	Ofte forekommende fejl i papirarbejde og i produktkvalitets samt ringe leveringsevne
Unødvendige lagre	Overdrevent lager og forsinkelse af information eller produkter \Rightarrow store omkostninger og ringe kundeservice
Uhensigtsmæssige arbejdsgange	Forkert tilgang til arbejdsprocesserne ved brug af forkert værktøj, procedurer eller systemer, når en mere simpel tilgang ville være mere effektiv
Overdreven transport	Overdreven flytning af mennesker, information eller varer \Rightarrow spild af tid, kræfter og penge
Ventetid	Inaktive perioder for mennesker, informationer eller varer \Rightarrow dårligt flow og lange procestider
Unødvendig bevægelse	Dårlig arbejdspladsindretning \Rightarrow for mange og for ensidige bevægelser og dermed også dårlig håndtering af produktet

Tabel 2 De 7 former for spild

Når man tænker på spild er det nyttigt at definere følgende 3 forskellige typer af aktiviteter i virksomheden:

- *Værdiskabende aktivitet:* De aktiviteter, der i kundens øjne har gjort virksomhedens produkt eller service mere værdifuldt. Eksempelvis at forarbejde råmælk til ost.
- *Ikke værdiskabende aktiviteter:* De aktiviteter, der i kundens øjne IKKE har gjort virksomhedens produkt eller service mere værdifuldt og som slet ikke er nødvendige under de nuværende forhold. Eksempelvis at flytte produktet fra en beholder/container for at kunne transportere det rundt i virksomheden.
- *Nødvendige ikke værdiskabende aktiviteter:* De aktiviteter, der i kundens øjne IKKE har gjort virksomhedens produkt eller service mere værdifuldt, men som er nødvendige med mindre den nuværende proces ændres radikalt. Eksempelvis at inspicere hver eneste produkt fra en proceslinie, hvor kvaliteten er svingende på grund af gammelt maskineri.

Det er helt klart at de "ikke værdiskabende aktiviteter" skal fjernes øjeblikkeligt eller inden for en kort tidshorisont. Med hensyn til de "nødvendige ikke værdiskabende aktiviteter", er de mere vanskelige at fjerne på kort sigt, men det skal være målet at fjerne dem på længere sigt.

I det efterfølgende, hvor der gives en nærmere beskrivelse af de typiske problemstillinger i produktionsvirksomheder, vil hver problemstilling blive karakteriseret med den eller de af ovenstående 7 spildtyper, der gør sig gældende for netop denne problemstilling.

3.2.3 Produktionsplanlægning

Produktionsplanlægning er for mange danske virksomheder en ganske vanskelig opgave, der langt fra praktiseres optimalt ude i industrien med deraf følgende reduceret produktivitet.

Problemstillingerne er typisk:

- mangel på tæt samarbejde mellem virksomhedens salgsafdeling, dens produktionsafdeling og indkøbsafdeling \Rightarrow kortsigtede produktionsplaner, der i nogle tilfælde kun rækker få dage frem. Dette besværer ordentlig udnyttelse af produktionskapaciteten, det medfører mange omstillinger og muligheden for planlægning af vedligehold er yderst begrænset.
- Manuel planlægning uden brug af moderne IT-værktøjer til produktionsplanlægningen \Rightarrow en ikke optimal produktionsplan, der ikke udnytter fabriksanlæggets kapacitet optimalt blandt andet på grund af for mange omstillinger og regulær ventetid.

Disse forhold er bare nogle eksempler på, hvilke problemstillinger, der er observeret ude i industrien.

Nøglen til en væsentlig forbedring af produktiviteten er derfor ofte en målrettet indsats for optimering/forbedring af produktionsplanlægningen

Baggrunden for denne påstand er helt enkelt at ved ideel produktionsplanlægning opnås at alle varer produceres rettidigt inden for den tilgængelige produktionstid under optimal udnyttelse af produktionsanlæggets kapacitet og med færrest mulige omstillinger/receptskift.

Dette betyder følgende:

- Rettidig produktion og levering \Rightarrow tilfredse kunder og eksempelvis ingen dagbøder ved for sen levering.
- Inden for tilgængelig produktionstid \Rightarrow at alle planlagte produktionsstop, såsom møder, pauser og planlagt vedligehold kan gennemføres samtidig med at den tilgængelige produktionstid ikke skal udvides til omkostnings-tunge overarbejdsskift/nathold m.m.
- Optimal kapacitetsudnyttelse \Rightarrow mindst mulig tomgangsdrift på dårligt belagte produktionslinier og dermed høje OEE-tal.

- Færrest mulige omstillinger/receptskift \Rightarrow reduktion af stilstandstid og tomgangsdrift samt rengøringsbehov i mange procesvirksomheder

Det er indlysende at ideel produktionsplanlægning er ekstremt værdifuldt for en produktionsvirksomhed, hvorfor det burde have meget høj prioritet.

Da produktionsplanlægning er en universel størrelse er der ikke rigtig nogen mening i at lave en særskilt beskrivelse af dens påvirkning i de to virksomhedstyper, der analyseres her.

Spildtyper

Overproduktion, unødvendig lagerbeholdning (råvarelager, mellemvarelager, færdiglager), uhensigtsmæssig produktionsafvikling samt ventetid og tomgang.

Energi

Energitab til overproduktion som ikke kan afsættes, energitab til unødvendig lagerbeholdning (kølehuse), tomgangstab, energitab i forbindelse med at produktionstiden må udvides for at overholde leveringskrav, energiforbrug til ekstra rengøring.

3.2.4 Kvalitet og kassation

Kvalitet er naturligvis et nøgleord for alle virksomheder. Kvaliteten af produkterne skal leve op til den af virksomheden og kunder fastsatte standard. Derfor er det naturligvis meget væsentligt at produkter, der ikke har den rigtige kvalitet ikke når ud til kunderne, da dette medfører reklamationer. Reklamationer kan ud over en direkte økonomisk omkostning i form af kompensation også medføre negativ omtale af firmaet i medier og dermed skade virksomhedens renommé. I realiteten vil dette ofte medføre en meget større økonomisk omkostning for virksomheden end fremstilling af et nyt produkt samt kompensation til kunden.

Kvaliteten af slutproduktet skal altså være i orden, og det opnås først og fremmest ved at producere flest mulige produkter med den rigtige kvalitet og derudover ved en grundig kvalitetskontrol for at opfange de produkter, der uundgåeligt vil være behæftet med fejl. Det drejer sig kort og godt om at:

- Producere med den rigtige kvalitet, det vil sige en høj succesrate
- Foretage en grundig kvalitetskontrol

I første omgang gælder det om at producere med en så høj succesrate som muligt, da fejlbehæftede produkter medfører spild og tab af ressourcer. Dernæst skal kvalitetskontrollen være så effektiv at de fejlbehæftede produkter stoppes før de sælges og allerhelst skal de fejlbehæftede produkter opdages så tidligt som overhovedet muligt i procesforløbet, da yderligere bearbejdning af disse emner er spild af ressourcer - både tid, arbejdskraft og energi.

Kassationsgrad og kvalitetskontrol er derfor to væsentlige indsatsområder i produktionsvirksomhederne.

Stykproducerende virksomheder

Kvalitetskontrollen i en stykproducerende virksomhed kan foretages umiddelbart efter hver bearbejdning af emnet. Dette muliggør en hurtig indgriben over for fejl på emnet, og emnet kan tages ud af produktionen og enten kasseres tolt, repareres eller genbearbejdes.

En hurtig indgriben betyder at der ikke spildes ressourcer på at viderebearbejde et defekt emne - herunder energi, materialer, mandtimer og maskintid.

På grund af produktionens stykproducerende natur vil en hurtig og effektiv identifikation af defekte emner ydermere betyde at kun ganske få emner produceres med defekt og dermed vil kassation af disse normalt ikke udgøre en væsentlig del af produktionen og det dertil hørende ressourceforbrug.

Umiddelbart vurderet vil en effektiv kvalitetskontrol i en stykproducerende virksomhed derfor medføre en væsentlig reduktion af fejlemner og dermed begrænse ressource spildet ved viderebearbejdning af defekte emner - herunder også energiforbruget.

Effektiv kvalitetskontrol er godt, men det reducerer ikke umiddelbart antallet af defekte emner og dertil hørende ressource spild, hvis ikke den bruges til at sætte ind over for fejlkilden, det være sig operatører, maskiner, råvarer, halvfabrikata, selve processen m.m.

For at reducere spildet yderligere er det derfor strengt nødvendigt at kigge på selve proceskvaliteten og få identificeret de faktorer, der medfører fejlene.

Kvalitetskontrol er altså godt, men forebyggelse af fejlproduktion ved at forøge proceskvaliteten er bedre og meget mere økonomisk attraktivt.

Procesvirksomheder

Kvalitetskontrollen i procesvirksomheder er ikke nær så lige til som den i stykproducerende virksomheder. Den primære årsag til dette er følgende:

- Produktet bliver ofte fremstillet ved en lang kontinuert proces - med forskellige delprocesser - i en lukket proceslinie. Direkte kvalitetskontrol på produktet kan derfor kun foretages, når det er færdigproduceret.

Den løbende kvalitetskontrol undervejs i processen må derfor ofte foretages indirekte ved kontrol af procestemperaturer, tryk og holdetider, da der kun i ringe omfang vil være mulighed for at udtage produkt til direkte kontrol.

Fejlproduktion opdages således ofte først sent i processen, hvor der allerede er medgået en masse ressourcer i fremstillingsprocessen.

Ydermere er produktet ofte kendetegnet ved at være produceret på basis af en større batch, hvor råvarerne mixes til en stor homogen flydende masse, hvorefter det gennemgår forskellige processer før det færdige produkt enten lagres på tanke, flasker m.m.

Selvom det færdige produkt, eksempelvis øl eller sodavand, godt kan adskilles flaske for flaske, vil en fejlproduktion relatere sig til hele det oprindelige mix af

råvarer i batchen og derfor vil kassation inkludere alle flasker produceret på basis af denne batch. Det er indlysende at kassation i dette tilfælde er ret omkostningstungt, hvorfor det er ekstremt vigtigt at undgå fejlproduktion.

Kvalitet må i dette lys betegnes som en meget væsentlig parameter i en procesvirksomhed, da det er forbundet med store omkostninger at lave en fejlproduktion, fordi ressourcetabet er mere eller mindre totalt.

Kvalitet og kvalitetskontrol er måske den væsentligste parameter i en procesvirksomhed.

Spildtyper

Defekter.

Energi

Defekte produkter medfører primært energitab i form af den energi, der er medgået til selve produktionen af det defekte produkt. Derudover kan det være forbundet med ekstra energiomkostninger at genanvende eller bortskaffe det defekte produkt.

3.2.5 Omstillinger

Omstillinger eller receptskift er en parameter, der er stor fokus på i produktionsvirksomhederne, da hver omstilling medfører et produktionsstop og dermed tab af produktionstid. Da der efter hver omstilling vil være en indkøringsfase af produktionsapparatet før processerne igen forløber optimalt, vil der i nogen grad også forekomme tab af produktion.

Omstillinger er dog et nødvendigt onde, som de fleste produktionsvirksomheder ikke kan slippe for. Dette skyldes helt enkelt, at procesudstyr og produktionslinier udnyttes til at producere flere forskellige produkter, der blandt andet medfører værktøjsskift, materialeskift, ændring af procesparametre m.m.

Tabet af produktionstid ved de uundgåelige omstillinger er dog ofte unødvendigt højt, fordi produktionen planlægges og afvikles på en uhensigtsmæssig måde, der medfører mange omstillinger. Derudover er omstillingstiden i nogle tilfælde ikke optimeret og dermed al for lang.

Problemstillingen med omstillinger er derfor at få nedbragt antallet af omstillinger til et minimum og nedbringe selve omstillingstiden pr. omstilling. Her ved øges den egentlige produktionstid, og de færre omstillinger medfører tillige en reduktion i kassationsgraden, da anlægget generelt vil køre mere optimalt.

Stykproducerende virksomheder

En omstilling i en stykproducerende virksomheder vil i de fleste tilfælde være et spørgsmål om at skifte materialer, værktøjer, forme og lignende på forskelligt maskineri og derpå fortsætte produktionen. Normalt er der heller ikke behov for nogen nævneværdig rengøring. Derfor bør en omstilling generelt kunne foretages forholdsvis hurtigt.

Med hensyn til energiforbrug vil en omstilling heller ikke være specielt energi-krævende, da maskinerne kan standses helt.

Procesvirksomheder Omstillinger i procesvirksomheder vil oftest være identisk med et receptskift til et andet produkt med en anden type råvaremix. Da procesvirksomhederne er kendetegnet ved flydende produkter, der bearbejdes i lukkede procesanlæg (rør, varmevekslere, centrifuger m.m.), vil rester af det foregående produkt normalt være til stede i hele procesanlægget.

Oftest ønskes det ikke at to forskellige produkter blandes, både af hensyn til deres forskellige produktkvaliteter og produkttegenskaber, men også på grund af risikoen for kontaminering fra et produkt til et andet. Derfor medfører et receptskift normalt også rengøring af alt det procesudstyr, der har været i direkte kontakt med produktet, undertiden også selve produktionslokalet.

I nogle procesanlæg på eksempelvis mejerier og bryggerier er det nok at køre et CIP-program (**C**leaning **I**n **P**lace), der i løbet af relativ kort tid (15-30 min.) rengør hele proceslinien. Ved produktion af farmaceutiske produkter skal der ydermere foretages en sterilisation af procesudstyret (**S**IP - **S**terilisation **I**n **P**lace) samt rengøring og desinficering af selve produktionslokalet.

Andre produktioner kræver rengøringsformer, hvor nitrogen bruges til at blæse rørsystemer m.m. rene. Nitrogen leveret i flydende form er et meget energiintensivt produkt, hvorfor det er forbundet med store energiomkostninger at rengøre på denne vis.

Med kravet om tids- og energikrævende rengøring ved omstillinger i procesvirksomheder bliver omstillinger en kostbar affære, der har stor indvirkning på produktiviteten og energiforbruget i virksomheden.

Minimering af antal omstillinger er derfor et ekstremt vigtigt indsatsområde for procesvirksomheder, der ønsker forbedret produktivitet og energieffektivitet.

Minimering af antal omstillinger kan umiddelbart gøres på 3 måder:

- Forbedrede forecasts for salg af produkter med dertil hørende forbedrede produktionsplaner indeholdende færre omstillinger.
- Forbedret produktionsafvikling med færre omstillinger
- Brug af down-grading

Produktionsplanlægningens indflydelse på antallet af omstillinger er indlysende og som allerede nævnt i 3.2.3, er dette et vigtigt indsatsområde for produktionsvirksomheder.

Down-grading af produkterne betyder at kan det tillades at produktrester fra en højere produktkvalitet må indgå i en lavere produktkvalitet. Derfor produceres produkterne så vidt muligt i en på hinanden følgende rækkefølge uden rengøringsstop. Dette kunne eksempelvis foregå på bryggerier, hvor kvalitetsøl brygges før discountøl, der godt må indeholde rester fra kvalitetsøl, hvorimod det omvendte ikke er tilladt.

Spildtyper	Defekter, uhensigtsmæssig produktionsafvikling, ventetid og tomgang
Energi	Energitalb ved tomgangsdrift i forbindelse med omstillingerne samt energiforbrug til rengøring af proceslinier i procesvirksomheder. I mindre grad kan der forekomme energispild i forbindelse med defekter (se afsnit 3.2.4).

3.2.6 Materiale- og værktøjsskift

Materiale- og værktøjsskift forveksles umiddelbart med omstillinger. Forskellen er dog stor, idet en omstilling medfører et skift i det producerede produkt, herunder også materialer og værktøjer, mens der ved et materiale- eller værktøjsskift ikke ændres ved produktet. Her er der alene tale om skift af slidte værktøjer, forme m.m. eller tilførsel af mere af det materiale, der bruges i den igangværende produktion, eksempelvis en ny stålcoil eller papirrulle.

Materiale- og værktøjsskift bør derfor kunne foretages meget hurtigt og uden den helt store stoptid til følge og ej heller noget nævneværdigt energiforbrug i hverken den stykproducerende virksomhed eller procesvirksomheden.

Det skal dog nævnes at i casen på American Tool A/S skyldtes 22% af nedetiden på aftrækkerlinien en særdeles uhensigtsmæssig materialefødnings. Med enkle midler kunne denne dog optimeres, således at nedetiden ved materialefødnings blev reduceret til 2%.

Spildtyper	Defekter, uhensigtsmæssig produktionsafvikling, ventetid og tomgang.
Energi	Samme forhold som for "omstillinger".

3.2.7 Vedligehold

Vedligehold og især forebyggende vedligehold er en problemstilling, som mange danske virksomheder desværre ikke tager alvorligt nok. Jævnfør afsnit 2.1.1 har Dansk Vedligeholdelsesforening opgjøret at der årligt tabes 40 mia. kr. ved "driftsstop".

Utilstrækkeligt fokus og allokering af ressourcer til vedligehold og ikke mindst forebyggende vedligehold medfører nedbrud og havari i produktionslinierne (uforudsete stop) med den direkte følge at der tabes produktionstid, hvilket reducerer anlæggets kapacitet inden for den tilgængelige produktionstid. I nogle tilfælde kan havari tilmed medføre at dele af eller hele produktionsbatch må kasseres, da produktet bliver ødelagt af at ligge stille i processen.

Ud over tabet af produktionstid påvirker et havari produktionen som følger:

- produktionsplanerne må ændres
- ekstra ressourcer må afsættes til at indhente den "tabte" produktion, hvis dette overhovedet er muligt inden for leveringstiden

- reparation af den havarerede maskindel er næsten altid mere bekostelig end forebyggelse af havariet ved planlagt vedligehold
- havari er et irritationsmoment for medarbejderne
- driftsstopet medfører tomgangstab og ventetid i resten af proceslinien

Minimering af havarier og driftsstop kan primært ske ved følgende indsats:

- Fokuser på vedligehold og afsæt både de nødvendige menneskelige og økonomiske ressourcer til det rigtige vedligehold
- optimering af vedligeholdet med blandt andet **Reliability Centered Maintenance (RCM)**, således at vedligeholdet bliver det økonomisk optimale
- forebyggende vedligehold

Stykproducerende virksomheder

Et havari og medfølgende driftsstop vil normalt 'kun' medføre ovennævnte gener i en stykproducerende virksomhed - dog med undtagelse af kassation af større produktionsbatch.

Med hensyn til energiforbrug vil et havari ikke medføre specielt store ekstra energiomkostninger, da de øvrige maskiner kan stoppes helt eller eventuelt fortsætte produktionen. I plastindustrien kan varmeholdelse af plastmasse dog betyde noget unødvendigt energiforbrug.

Da et driftsstop ikke medfører fare for kassation af store mængder produkt vil det ikke være nødvendigt at have backup-udstyr i de enkelte delprocesser som sikkerhed for tab af produktion.

Procesvirksomheder

Havari i en proceslinie i procesindustrien kan ud over ovennævnte gener medføre at dele af eller hele produktionsbatch må kasseres, såfremt disse ikke kan tømmes ud, videreforarbejdes, holdes varme/kolde etc.

Da batch undertiden kan være både temmelig værdifulde og/eller temmelig resourcekrævende (energi, råvarer m.m.) kan havarier med efterfølgende oprydning og rengøring af procesanlæg være meget omkostningsfulde også med hensyn til energiforbrug.

Da driftsstop således i nogle procesvirksomheder kan medføre fare for kassation af store mængder produkt, vil det undertiden være nødvendigt at have backup-udstyr i de enkelte delprocesser for at forhindre kassation og produktionstab.

Spildtyper

Defekter, ventetid og tomgang.

Energi

Tomgangstab er den primære kilde til energispild ved havari afstedkommet af mangelfuldt vedligehold. I visse tilfælde risikeres sågar energitab i forbindelse med kassation af produkter på grund af driftsstop.

3.2.8 Fabrikslayout

Fabrikslayoutet (rammerne for produktionen) er en problemstilling, der er yderst relevant for at have en optimal drift og produktivitet.

Denne problemstilling er måske lidt overset i industrien, da produktionsanlæggene jo kører og man har de rammer man nu engang har. For mange virksomheders vedkommende er disse rammer skabt ved knopskydning, det vil sige ved flere udvidelser og ombygninger af de oprindelige produktionsbygninger, hvilket har efterladt et fabrikslayout, der ikke længere er specielt velegnet til den nuværende produktion.

Et ikke optimalt fabrikslayout giver ofte mange maskinskit, unødvendigt stor transport af produkter både fra maskine til maskine, men også rundt på fabriksanlægget. Derudover kan det medvirke til opbygning af mellemlagre og medføre en dårlig indretning af procesforløbet og dermed være til gene for medarbejderne og eventuelt tilgængeligheden ved rengøring.

Den megen interne transport forøger risikoen for driftsstop på grund af havari eller menneskelige håndteringsfejl, hvilket naturligvis har en negativ indvirkning på produktiviteten og desuden medfører et forøget energiforbrug.

Umiddelbart er der ikke nogen særlige ulemper eller problemstillinger ved et ikke optimeret fabrikslayout i en stykproducerende virksomhed i forhold til en procesvirksomhed.

Spildtyper

Uhensigtsmæssig produktionsafvikling, overdreven transport, ventetid, tomgang og unødvendige bevægelser på grund af dårlig arbejdspladsindretning.

Energi

Energitab i forbindelse med unødvendig transport og tomgangsdrift.

3.2.9 Produktsortiment

Produktionsvirksomhedernes kunder kræver ofte et bredt produktsortiment af virksomheden med standardvarer suppleret med diverse specialprodukter. For ikke at miste salg af standardvarerne med stort volumen og stor omsætning, føler virksomhederne sig ofte presset til at servicere kunderne med disse specialprodukter på trods af et lille produktionsvolumen, lille omsætning og mangel på rentabilitet i produktion af disse produkter.

Problemstillingen med et bredt produktsortiment er at fremstilling af mange specialprodukter som supplement til få standardvarer kræver enten et yderst fleksibelt produktionsanlæg med behov for mange omstillinger eller også mange specialmaskiner og parallelle produktionslinier, der kan håndtere specialprodukterne.

Da specialmaskiner og parallelle produktionslinier er dyre at etablere, kræver ekstra plads og derudover har en lav benyttelsestid, er disse sjældent rentable løsninger på produktion af et begrænset produktionsvolumen.

Derfor bliver specialprodukterne som hovedregel fremstillet på de samme maskiner og produktionslinier som standardvarerne, hvilket kræver mange ekstra omstillinger samt i nogle tilfælde overbelastning af enkelte maskiner/processer med deraf følgende flaskehalsproblemer.

Eksempelvis har American Tools A/S ca. 100 forskellige produktvarianter, der mere eller mindre produceres på de samme maskiner. Det siger sig selv at dette stiller store krav til fleksibiliteten og forøger antallet af omstillinger markant.

Denne form for produktion stiller store krav til en præcis og meget stram produktionsplanlægning, hvis den skal forløbe med en rimelig produktivitet uden alt for megen spild af produktionstid til omstillinger. Derudover vil det i nogen grad være fornuftigt at etablere mellemlagre på de steder i produktionen, hvor det halvfærdige produkt er identisk for en større gruppe af produktvarianter. Hermed sikres udnyttelse af det efterfølgende produktionsapparat, når det foregående produktionsapparat omstilles til at producere en anden produkt type.

Hvis muligt er det naturligvis mest optimalt at prøve at begrænse produktsortimentet, således at man reducerer antallet af omstillinger m.m. Desværre passer dette koncept ikke så godt med nutidens ønsker om kundetilpassede produkter.

Derfor vil det være en rigtig god idé at prøve at foretage en eller anden form for produkttilpasning, således at færdigvarerne differentierer sig så lidt som muligt fra hinanden og de dermed kan produceres på basis af identiske halvfabrikata langt henne i produktionsforløbet.

Stykproducerende virksomheder

Umiddelbart vurderet er det som oftest stykproducerende virksomheder, typisk jern- og metalindustrien og plastindustrien, der opererer med et bredt produktsortiment. Disse typer af virksomheder bør derfor være særligt opmærksomme på at have en stram styring af produktionen samt søge en eller anden form for produkttilpasning.

Da forskellige produkter som regel medfører variationer i produktionsanlæggets kapacitet, vil maskinerne som regel ikke udnyttes optimalt i alle produktionsindstillinger. Hermed vil der i et vist omfang opstå ventetid og tomgangsdrift, der reducerer energieffektiviteten af anlægget.

Procesvirksomheder

Procesvirksomheder har oftest ikke et så bredt produktsortiment som stykproducerende virksomheder. Til gengæld kan det undertiden være svært at fremstille og mellemlagre halvfabrikata til efterfølgende produktdifferentiering i forbindelse med fremstillingen af færdigvaren. Dette skyldes især to ting:

- Ofte kræver det færdige produkt en helt bestemt type råvaremiks (opskrift), hvorfor andre produkter ikke kan fremstilles på basis af halvfabrikata fra produktet.
- Mellemlagring af halvfabrikata kan undertiden besværliggøres af produkternes holdbarhed. Fødevarer, og især ferske produkter som mælk, kan ikke mellemlagres i længere tid uden at kvaliteten forringes.

Ud over disse forhold gør det sig også gældende at ved produktskift skal der, med mindre man benytter sig af down-grading, normalt foretages rengøring af procesanlægget og eventuelt også selve produktionsrummet.

Derfor er et bredt produktsortiment normalt ikke godt for produktiviteten i en procesvirksomhed.

Spildtyper

Uhensigtsmæssig produktionsafvikling, overdreven transport, ventetid, tomgang og til dels unødvendig lagerbeholdning.

Energi

Energिताb i forbindelse med unødvendig transport, tomgangsdrift, ekstra rengøring og i tilfælde af kombinationen af unødvendig lagring og kølebehov også energispild til køling.

3.2.10 Cyklustider og flaskehalse

Cyklustider og flaskehalse hænger sammen og er en evigt tilbagevendende problematik i enhver produktionsvirksomhed. Groft sagt kan man nemlig sige at så længe alle delprocesser eller maskiner ikke har samme kapacitet (cyklustid), så vil der altid eksistere en flaskehals i produktionsanlægget.

Kapaciteten af denne flaskehals angiver hele anlæggets overordnede maksimale produktionskapacitet, også selvom øvrige procesanlæg har en højere kapacitet.

Den overordnede produktivitet eller OEE vil altid blive målt ud fra udnyttelsen af anlæggets maksimale produktionskapacitet, hvilket er identisk med kapacitetsudnyttelsen af flaskehalsen.

For alle produktionsvirksomheder gælder det at det er utopi at skabe produktionslinier med fuldstændig identisk kapacitet for alle delprocesser samt de nødvendige forsyningsanlæg (trykluft, køling og varme). Derfor vil der altid være en flaskehals, og alle andre maskiner/delprocesser udnyttes ikke maksimalt.

En reduceret kapacitetsudnyttelse på alle andre maskiner/delprocesser betyder at man for det første har spildt penge på at installere overkapacitet og for det andet kører hovedparten af produktionslinien på dellast, hvilket nødvendigvis vil reducere energieffektiviteten.

Skal man bygge en helt ny fabrik, vil man fra et energimæssigt og til dels også investeringsmæssigt synspunkt skulle sammensætte sit produktionsanlæg af delkomponenter, der har helt ens (utopi) eller tilnærmelsesvis ens kapacitet (cyklustid), da dette giver den laveste investering og bedste driftsøkonomi.

Fra et investeringsmæssigt synspunkt vil de fleste direktører og virksomhedsejere have tendens til at sikre sig at de dyreste komponenter/anlæg har en overkapacitet i forhold til det aktuelle behov. Hermed kan produktionen på sigt udvides uden at de meget investeringstunge anlæg skal erstattes med helt nye anlæg. Heri ligger der en del psykologi omkring den menneskelige optimisme!

Det samme gør sig ofte gældende ved udskiftning af udslidte anlæg. Erstatningen har en større kapacitet, da man jo nødigt vil opleve at et helt nyt anlæg bliver til produktionens flaskehals efter kort tid.

En anden problemstilling vedrørende flaskehalse er en misforstået tro på at fjernelse af en flaskehals er den eneste løsning på et behov for øget produktion. Oftest vil det være meget mere hensigtsmæssigt at se på anlæggets OEE og altså udnyttelsen af flaskehalsen. Er OEE ikke oppe i nærheden af standarden for "World Class Manufacturing", det vil sige 85-90%, men måske kun i størrelsesordenen 60-65%, ligger der megen ekstra produktion i at forbedre OEE.

Flaskehalsproblematikken er universel, og der gør sig således ingen særlige forhold gældende ved stykproducerende virksomhed i forhold til en procesvirksomhed.

Spild

Ventetid og tomgang.

Energi

Energitab ved tomgang og dellastdrift.

3.2.11 Rengøring

Rengøring tager tid og kræver energi. Fødevarer- og farmaceutiske virksomheder er alle underlagt strenge myndighedskrav om rengøring og i nogle tilfælde desinficering og sterilisation af procesudstyr efter endt brug, efter receptskifte og mindst en gang i døgnet.

Disse krav medfører helt enkelt at produktionsapparatet har en begrænset produktionstid og en begrænset kapacitetsudnyttelse, da rengøring medfører driftstop. Rengøring er ganske enkelt med til at reducere produktiviteten i disse virksomhedstyper, som primært må karakteriseres som procesvirksomheder.

Rengøring er en nødvendighed, men der er dog muligheder for at reducere behovet for rengøring og dermed reducere nedetiden og energiforbruget:

- Produktionsplanlægningen skal være meget stram, således at omstillinger (receptskift) så vidt muligt undgås inden for det enkelte produktionsdøgn og henlægges til at ske imellem to produktionsdøgn, hvor der alligevel skal gøres rent i henhold til myndighedskravene.
- Skal der laves omstillinger og er der mulighed for at benytte sig af såkaldt down-grading skal dette tages med i produktionsplanlægningen.

Rengøringsproblematikken er primært gældende for procesvirksomheder, da der slet ikke er de samme krav om rengøring i stykproducerende virksomheder inden for jern-, metal- og plastindustrien.

Spild

Ventetid og tomgang.

Energi

Direkte energiforbrug til selve rengøringen samt tomgangstab i forbindelse med rengøring i løbet af produktionsdøgnet, hvor anlægget er i drift.

3.2.12 Matrix med problemstillinger

Nedenfor er de beskrevne problemstillinger samlet i en matrix med oversigt over hvilken spildtype og hvilken indvirkning på energiforbruget man kan forvente ved den enkelte problemstilling.

	Spildtype	Energispild
Produktionsplanlægning	Overproduktion, unødvendig lagerbeholdning (råvarelager, mellemvarelager, færdiglager), uhensigtsmæssig produktionsafvikling samt ventetid og tomgang.	Til overproduktion som ikke kan afsættes, til unødvendig lagerbeholdning (eksempelvis kølehuse), tomgangsdrift, til udvidelse af produktionslokalers benyttelsestid (lys, varme/kulde, ventilation m.m.) for at overholde leveringskrav, til ekstra rengøring.
Kvalitet og kassation	Defekter.	I form af den energi, der er medgået til produktion af det defekte produkt samt til genanvendelse eller bortskaffelse af det defekte produkt. Udvidelse af produktionslokalers benyttelsestid (lys, varme/kulde, ventilation m.m.) for at overholde leveringskrav.
Omstillinger	Defekter, uhensigtsmæssig produktionsafvikling, ventetid og tomgang.	Til tomgangsdrift i forbindelse med omstillingerne, til rengøring af proceslinier i procesvirksomheder. I mindre grad kan der forekomme energispild i forbindelse med defekter (se ovenfor).
Materiale- og værktøjsskift	Defekter, uhensigtsmæssig produktionsafvikling, ventetid og tomgang.	Som under "omstillinger".
Vedligehold	Defekter, ventetid og tomgang.	Tomgangstab er den primære kilde til energispild ved havari afstedkommet af mangelfuldt vedligehold. I nogle tilfælde risikeres energitab i forbindelse med kassation af produkter på grund af driftsstop.
Fabrikslayout	Uhensigtsmæssig produktionsafvikling, overdreven transport, ventetid, tomgang og unødvendige bevægelser på grund af dårlig arbejdspladsindretning.	Til unødvendig transport og tomgangsdrift.
Produktsortiment	Uhensigtsmæssig produktionsafvikling, overdreven transport, ventetid, tomgang og til dels unødvendig lagerbeholdning.	Til unødvendig transport, tomgangsdrift, ekstra rengøring og i tilfælde af kombinationen af unødvendig lagring og kølebehov også til køling.
Cyklustider/flaskehalse	Ventetid og tomgang.	Til tomgang og dellastdrift.
Rengøring	Ventetid og tomgang.	Til selve rengøringen samt tomgangsdrift i forbindelse med rengøring i løbet af produktionsdøgnet, hvor anlægget er i drift.

Tabel 3 Matrix med spildtype og energipåvirkning for typiske problemstillinger i produktionsvirksomheder

4 American Tool A/S

Projektets deltagende casevirksomhed inden for stykproduktion er American Tool A/S, der producerer håndsave i Asnæs i Nordvestsjælland.

Produktionsoptimeringsprojektet hos American Tool A/S blev gennemført i perioden 1. oktober 2001 til 1. april 2002. Projektets forløb og resultater er beskrevet i rapporten "Produktionsoptimering, logistik og energieffektivitet hos American Tool A/S", udgivet maj 2002.

Nedenfor gives et sammendrag af resultaterne beskrevet i ovennævnte rapport. Det skal i den forbindelse siges at der henvises til en referenceperiode og en driftsoptimeringsperiode som er:

Referenceperioden omfatter perioden fra 1. november 2000 til 31. oktober 2001 og udgør en repræsentativ driftsperiode inden de påbegyndte produktionsforbedringer.

Driftsoptimeringsperioden omfatter perioden fra 1. februar 2002 til 31. marts 2002 og udgør en repræsentativ driftsperiode efter gennemførelse af forbedringsprojektets fase 1.

4.1 Virksomhedsbeskrivelse

American Tool A/S i Asnæs er et selskab under det amerikanskejede American Tool Companies INC. Virksomheden producerer håndsave til hjemmemarkedet og til eksport - primært i Europa. Med få undtagelser leveres håndsavene færdigmonterede til grossistledet.

American Tool A/S beskæftiger ca. 80 medarbejdere, fordelt på timelønnede, faglærte og funktionærer.

Produktionen er baseret på valsede stålcoils som afvikles og opklippes til såkaldte blanks - et savblad uden tænder, men med huller for senere montering af håndtag. Blanks udgør basismaterialet i den videre proces - slibning, tandudlægning, hærkning og lakering, stemping, montering af håndtag og til sidst pakning. Håndtag fremstilles på egne sprøjtstøbemaskiner i et særskilt produktionsafsnit - dette produktionsafsnit indgår ikke i projektet.

Store dele af produktionen afvikles automatisk, men der er fortsat en række områder, som med stor fordel kan automatiseres. Der er mange manuelle håndteringer mellem de enkelte produktionsenheder.

Produktprogrammet omfatter mere end 100 varianter, heraf udgør de såkaldte basissave ca. 75% af produktionen. Registreringer og dataopsamling i dette projekt er koncentreret om netop basissavene.

4.2 Produktivitet

American Tool A/S' primære mål med gennemførelse af dette effektiviseringsprojekt har været at opnå en forøgelse af produktionen af det primære produkt håndsave.

Indsatsen i projektet har derfor været målrettet direkte mod at søge forbedringsmuligheder, der kan bidrage til en forøgelse af produktionen, i stedet for at søge muligheder for egentlig rationalisering af produktionen - herunder energiforbruget.

Produktionsforøgelsen er søgt ved at fokusere på følgende indsatsområder:

- Forøgelse af produktionstiden ved minimering af produktionsstop, såvel planlagte som uplanlagte, inden for den tilgængelige tid.
- Tilpasning og reduktion af cyklustider i kritiske delprocesser med henblik på at forøge den samlede produktionskapacitet.

Ved en gennemgribende kortlægning og analyse af produktionsapparatet og logistikken omkring dette er man kommet frem til at den første delproces i proceslinien, den såkaldte aftrækkerlinie, er produktionens flaskehals.

Med udgangspunkt i en optimering af denne delproces er der fundet frem til en produktivitetsforbedrende strategi, der strækker sig over følgende 5 faser:

Afrækkerlinie				
Enhed	Produktionstid Min./time	Cyklustid Sek./emne	Produktion Emner/time	Produktivitetsstigning %
Ref. periode	37,28	3,49	641	-
Fase 1	47	3,49	808	26,1
Fase 2	52	3,49	894	39,5
Fase 3	56	3,49	963	50,2
Fase 4	56	3,00	1120	74,8
Fase 5	56	2,18	1541	140,5

Tablet 4 Oversigt over strategi for produktivitetsforbedrende faser

Som det fremgår af tabellen koncentrerer indsatsen i de første 3 faser sig om at forøge produktionstiden fra godt 37 min./time til en maksimal værdi på 56 min./time. I disse 3 faser går indsatsen primært på at minimere uplanlagte stop

og efterfølgende reducere planlagte stop til vedligehold, materialefødnings, omstillinger, møder m.m.

Med en maksimering af produktionstiden i fase 1-3 vendes fokus i faserne 4 og 5 mod en reduktion af cyklustiden først og fremmest i de delprocesser, hvor denne er en begrænsende faktor i forhold til de øvrige delprocesser.

I fase 4 er indsatsen stadig rettet mod aftrækkeren, der jf. opgivelser fra leverandøren er udlagt til en cyklustid på 3,0 sek./emne og ikke de nuværende 3,49 sek./emne.

Indsatsen i fase 5 for at få cyklustiden ned på 2,18 sek./emne kræver en meget vidtgående indgriben i det eksisterende produktionsanlæg med radikale ændringer af logistik, produktionsgange og maskineri.

Resultater

I driftsoptimeringsperioden er det lykkedes at gennemføre de nødvendige tiltag i fase 1, hvilket har medført de i Tabel 5 anførte resultater.

	Produktions- tid	Cyklustid	Produktion	Produktiv- tetsstigning
Enhed	Min./time	Sek./emne	Emner/time	%
Ref. periode	37,28	3,49	641	-
Aktuelt	48,27	3,49	829	29,3

Tabel 5 Produktivitetsforbedringer

Tabellen viser, at der i driftsoptimeringsperioden er opnået en gennemsnitlig produktivitetsstigning på 29,3%, hvilket er 3,2% mere end forventet.

4.3 Energibesparelser

Resultaterne for det specifikke energi- og vandforbrug i referenceperioden og driftsoptimeringsperioden fremgår af nedenstående tabeller:

Elektricitet

	Specifikt før	Specifikt i dag	Reduktion*
Enhed	kWh/emne	kWh/emne	%
Elektricitet	0,574**	0,403	29,8

Tabel 6 Specifikt elforbrug før og efter driftsoptimeringsperioden

*Reduktion af specifikt forbrug i forhold til specifikt forbrug i referenceår.

** Det specifikke elforbrug før er korrigeret for elforbrug til en nu nedlagt produktion af båndsave.

Procesvarme

	Specifikt før	Specifikt i dag	Reduktion*
Enhed	Nm ³ /emne	Nm ³ /emne	%
N-gas (proces)	0,00412	0,00345	16,3

Tabel 7 Specifikt naturgasforbrug til procesvarme før og efter driftsoptimeringsperiode

Yderligere har der kunnet konstateres en reduktion i vandforbruget som vist nedenfor i Tabel 8.

Vand

	Specifikt før	Specifikt i dag	Reduktion*
Enhed	ltr./emne	ltr./emne	%
Vand (total)	1,15	0,817	29,0
Varmt procesvand	0,058	0,042	27,6

Tabel 8 Vandforbrug i driftsoptimeringsperioden

Det fremgår af ovenstående tabeller, at det specifikke energi- og vandforbrug med undtagelse af naturgasforbruget er reduceret med lige knap 30% i driftsoptimeringsperioden i forhold til referenceåret.

Denne reduktion er primært opnået ved reduktion af tomgangsdrift og det dertilhørende energispild og sekundært ved fordeling af de såkaldte kapacitetsenergiomkostninger (lys, administration, ventilation m.m.) på en større produktion.

Beregnes det egentlig energi- og vandforbrug pr. time fås følgende opsigtsvækkende resultater:

	Enhed	Forbrug før	Forbrug i dag	Ændring
El	kWh/h	368	334	-34
Naturgas	Nm ³ /h	2,64	2,86	+0,22
Vand (total)	ltr./h	737	677	-60
Varmt procesvand	ltr./h	37	35	-2

Tabel 9 Besparelspotentiale på timebasis

På trods af produktionsstigningen bruges der med undtagelse af naturgas mindre el og vand efter driftsoptimeringen.

Det er højest overraskende at en så stor produktionsforøgelse giver en absolut reduktion i elforbruget. Mulige forklaringer på hvorfor er dog følgende:

- Produktionstiden i driftsoptimeringsperiodens 8 uger har været ca. 14% længere end i forhold til 8 produktionsuger i referenceperioden, hvilket har fordelt kapacitetsenergiforbruget ud på flere produktionstimer end normalt.
- Fabrikens energiforbrug i de 7 uger årligt, hvor der ikke er produktion er ikke medregnet.
- Fremskrivning af produktionen i forhold til de 8 ugers produktion i februar og marts giver en årlig produktion, der vil være 50% større end i referencåret og altså ikke kun de 29,3%. På årsbasis vil dette føre til en stigning i det absolutte elforbrug på mindst 5-6%.

Der er således 3 gode og realistiske forklaringer på, at elforbruget i driftsoptimeringsperiode viser et absolut fald på trods af den væsentlige produktionsforøgelse i lige præcis denne periode.

4.4 Fremtidig produktivetsforøgelse og energibesparelse

Som det fremgår af afsnit 4.2 og 4.3 er der opnået betydelige resultater i driftsoptimeringsperioden. Der er imidlertid fortsat et stort uudnyttet potentiale i gennemførelse af fremtidige forbedringer. Hvis den positive udvikling fastholdes, kan der forventes en produktivetsforøgelse på op til 75%.

Ved en mere radikal indgriben i produktionsafviklingen vil en produktivetsforøgelse på op til ca. 145% være inden for rækkevidde.

Med dette optimeringspotentiale vil det, alt afhængigt af afsætningsmuligheder, være naturligt at effektiviseringen på sigt udmønter sig i en rationalisering af virksomheden.

En rationalisering vil medføre at den samlede driftstid reduceres betragteligt. En reduktion af driftstiden vil medvirke til en væsentlig reduktion af energirelaterede kapacitetsomkostninger.

En præcis opgørelse over de afledte energibesparelser efter gennemførelse af de fremtidige produktivetsforøgelser lader sig ikke foretage uden en detaljeret kortlægning af de specifikke energiforbrug for alle produktionsenheder.

Det anbefales derfor at denne kortlægning iværksættes med henblik på at udarbejde et økonomisk oplæg til gennemførelse af fase 5.

5 Aarhus Oliefabrik A/S

Projektets deltagende case-virksomhed inden for procesvirksomheder er Aarhus Oliefabrik A/S, der producerer vegetabiliske olier og fedtstoffer i Århus.

Produktionsoptimeringsprojektet hos Aarhus Oliefabrik A/S er gennemført i perioden 1. oktober 2002 til 30. juni 2003. Projektets forløb og resultater er beskrevet i rapporten "Produktionsoptimering af ekstraktionslinie hos Aarhus Oliefabrik A/S", udgivet i juni 2003.

Projektet på Aarhus Oliefabrik er afgrænset til den såkaldte ekstraktionslinie, der er det produktionsafsnit, hvor selve udvindingen sker af den rå, vegetabiliske olie fra primært shea-nødder og rapsfrø.

Nedenfor gives et sammendrag af resultaterne beskrevet i ovennævnte rapport. Det skal nævnes at projektet på Aarhus Oliefabrik endnu ikke har ført til ændringer i produktiviteten, hvorfor resultaterne primært viser potentialet for produktivetsforbedringer i ekstraktionslinien.

5.1 Virksomhedsbeskrivelse

Aarhus Oliefabrik producerer vegetabiliske olier og fedtstoffer.

De mest værdifulde produkter er baseret på sheaolie fra afrikanske shea-nødder, hvorfor olieproduktionen i ekstraktionslinien er lagt an på først og fremmest at producere den salgbare mængde sheaolie og sekundært at producere rapsolie.

Procesbeskrivelse

Udvindingen af råolie i ekstraktionslinien er baseret på forarbejdning af rapsfrø og afrikanske shea-nødder ved henholdsvis varmpresning i Møllen og ekstrahering i Ekstraktionen.

Varmpresningen foregår ved at frø/nødder først opvarmes i såkaldte varmepander til ca. 80°C for derefter at blive presset, hvorved ca. 50% af olieindholdet i frøene/nødderne udvindes. Presseolien føres igennem et oliebehandlingsanlæg, hvor den bliver oprenset for planterester og lecitin ved diverse udskilnings og filtreringsprocesser, inden den hældes på kældertanke. Presseskråen føres via diverse transportører, og for rapsfrøenes vedkommende også et tørreanlæg, over i ekstraktionsanlægget til ekstrahering.

Ekstrahering af restindholdet i presseskråen sker ved at overrisle presseskråen med hexan i en såkaldt ekstraktør. Olie/hexan-blandingen kaldet miscella føres igennem diverse indirekte opvarmningsprocesser, hvor hovedparten af hexanen afdampes, førend restindholdet af hexan fjernes igennem en egentlig stripningsproces med injektionsdamp. Ekstraktionsolien føres via oliebehandlingsanlæg til kældertanke. Sheaolien blandes med presseolien og rapsolien renses i separat vandbehandlingsanlæg i Ekstraktionen.

Restskråen fra ekstraktøren føres ind i en såkaldt toaster, hvor skråen opvarmes og stripes for eventuelle rester af hexan, inden den via diverse transportører lagres på siloer.

5.2 Produktion

Udgangspunktet for produktionsanalyserne i ekstraktionslinien er overordnede driftsdata for hele 2002, der samtidig udgør referenceperioden for produktionsnøgletal, og derudover detaljerede data for sheaolie-perioden 10. okt. til 23. dec. 2002 samt rapsolieperioden 2. januar til 16. februar 2003.

Produktion

Produktionen i ekstraktionslinien foregår overordnet som følger:

- Produktionen kører uafbrudt med samme produkt 24 timer i døgnet i hver produktionsperiode. Enten produceres der sheaolie eller også rapsolie.
- En produktionsperiode er fra 30 til 70 dage, hvilket kun giver anledning til 6-8 omstillinger eller såkaldte råstofskift pr. år.
- Omstillingstiden (råstofskift) er 1-1½ døgn.

Produktivitet

Produktiviteten i 2002 og seneste produktionsperiode var følgende:

	Produktions- onstid	Tilgænge- lighed	Præstati- onsrate	OEE
Enhed	døgn	%	%	%
Sheaolie 2002	197,3	84,6	75,6	64,0
Rapsolie 2002	115,6	86,9	76,0	66,0
Sheaolie 10/10-23/12 02	75	88,7	83,0	73,5
Rapsolie 2/1-16/2 03	46	91,2	76,2	69,5

Tabel 10 Driftsdata for ekstraktionslinie

Den samlede driftstid til produktion af sheaolie og rapsolie er 313 døgn ud af de totalt set 328 produktionsdøgn i 2002. I de resterende 15 døgn er der lavet forsøgsproduktioner af henholdsvis soja (5 døgn) og Illipe (10 døgn).

Den altovervejende grund til at OEE kun har ligget på ca. 65% i 2002 er at præstationsraten kun har ligget på ca. 76%, hvilket betyder at anlægget kun har udnyttet 76% af maks. kapaciteten.

Tilgængeligheden har ligget på ca. 86%, svarende til 46 døgn nedetid, hvoraf de 35 døgn skyldtes uforudsete driftsstop og de resterende 11 døgn var omstillingstid. På trods af en rimeligt høj tilgængelighed, er der ingen tvivl om at de mange driftsstop i årets løb har haft en negativ indvirkning på præstationsraten, da det tager flere timer at få anlægget op at køre optimalt efter et stop.

De to seneste produktionsperioder for sheaolie (10/10-23/12 2002) og rapsolie (2/1-16/2 2003) har vist forbedrede OEE-tal. Seneste sheaperiodes OEE på 73,5% har endog været markant bedre end de foregående perioders, hvor gennemsnittet har ligget nede på kun knap 60%.

5.3 Produktivitet

Det primære mål med gennemførelse af produktionsoptimeringsprojektet har været at afdække mulighederne for forøgelse af produktionen såvel som mulighederne for egentlig rationalisering af olieproduktionen i ekstraktionslinien.

Perspektiver

Produktionen af sheaolie har førsteprioritet, men da afsætningsmulighederne p.t. er begrænsede til det nuværende niveau vil en produktivitetsforøgelse, det vil sige en forøgelse af OEE i ekstraktionslinien give følgende 2 muligheder:

- 1 Eksisterende produktionsvolumen af sheaolie og rapsolie bibeholdes og produktivitetsforøgelsen bruges til at reducere antallet af produktionsdøgn.
- 2 Eksisterende produktionsvolumen af sheaolie bibeholdes og produktivitetsforøgelsen bruges til at producere andre produkter, herunder også rapsolie.

Med den aktuelle produktionskapacitet i ekstraktionslinien vil en identisk forøgelse af OEE for begge olietyper i forhold til 2002-tallene give de i nedenstående Tabel 11 viste muligheder for at reducere produktionstiden eller producere mere rapsolie.

Med identisk forøgelse af OEE menes at hvis OEE ved sheadrift forøges til eksempelvis 75%, så opnås samme OEE ved rapsdrift.

OEE	Reduceret produktionstid	Forøget rapsolieproduktion
%	døgn/år	%
70	24	22
75	44	42
80	60	62
85	76	83
90	89	103
95	101	123
100	112	144

Tabel 11 Potentiale for reduceret produktionstid og forøget rapsolieproduktion ved forbedring af OEE i ekstraktionslinie

Som det fremgår af Tabel 11 er der et meget stort potentiale for enten at forøge produktionen af rapsolie eller reducere den nødvendige driftstid.

Potentialet ved at holde niveauet fra de seneste produktionsperioder for shea og raps er enten en driftstidsreduktion på 33 døgn/år eller en forøgelse af rapsolieproduktionen på 31%.

På basis af den indsamlede viden om driften af ekstraktionslinien vil det være et realistisk mål at nå op på et OEE-niveau, der hedder 75%. Dette niveau vil frigive 1½ mdr. produktionstid til enten at ligge helt stille, producere 42% mere rapsolie eller prøve kræfter med andre råvarer og dermed olietyper.

Kan Aarhus Oliefabrik hæve OEE på ekstraktionslinien til standarden for "World Class Manufacturing", som er ca. 90%, kan produktionen enten lukkes ned i 3 mdr. om året eller der kan produceres lidt mere end det dobbelte volumen rapsolie.

Produktivitetsforbedringer

For at hæve OEE på ekstraktionslinien vil det være afgørende nødvendigt at indsatsen målrettes mod følgende områder:

- Vedligeholdet skal forbedres og optimeres, således at antallet af uplanlagte stop reduceres. Der bør i den henseende også kigges på nødvendigheden af et 2-3 uger langt årligt vedligeholdelsesstop.
- Udskiftning/renovering af i første omgang de 5 procesanlæg, der er nedslidte og ikke længere kan levere den påkrævede kvalitet. Det drejer sig om soldet, varmepanderne, presserne, båndkøler og centrifuge i vandrøringsanlæg.
- Rensning af råvarerne før de kommer ind i fabrikken - enten på havnen i Århus eller ved udskibningsstedet (især for sheanødder).

Resultater

Resultaterne af projektet har som allerede nævnt ikke medført egentlige produktivetsforbedringer. Projektets resultater er i stedet en omfattende analyse af den nuværende driftssituation, analysen af potentialet for produktivetsforbedringer og ikke mindst de anbefalinger, der ligger omkring fremtidens indsatsområder for at øge produktiviteten i ekstraktionslinien - alt sammen nævnt ovenfor. Dertil kommer en overordnet flaskehalsanalyse samt en detaljeret analyse af hvordan vandindsprøjtning i 2,8 bar procesdamp til Ekstraktionen kan forbedre kapaciteten af dampvarmevekslere. Endeligt er der lavet en mindre RCM-pilot på vedligeholdet af DOZC-valsens i Møllen.

5.4 Flaskehalse

Generelt

Overordnet set er der allerede i dag 4 anlæg ved sheadrift og 5 anlæg ved rapsdrift, der er belastet 100% eller mere i forhold til den specificerede kapacitet.

Nr. 1 på listen er varmpanderne, der er belastet med 120-125% af kapaciteten, hvilket medfører tydelige problemer med tilstrækkelig opvarmning af frø og nødder før presningen. Problemerne omkring varmpanderne har længe været kendt på Aarhus Oliefabrik.

Flaskehals	Sheadrift	Udnyttelsesgrad	Rapsdrift	Udnyttelsesgrad
Enhed	-	%	-	%
1	Varmepander	119	Varmepander	127
2	Skælrifler	118	SN759→SN750	125
3	Ekstraktion	114	RD675	109
4	Centrifuge	100	Ekstraktion	101
5	Fundafiltre	89	EV107	100

Tabel 12 Potentielle og eksisterende flaskehalse i ekstraktionen

Med observerede maksimale produktionsmængder på ca. 96% af nuværende maks. kapacitet kan ekstraktionslinien under optimale forhold køre med den medfølgende overbelastning af ovenstående anlæg.

De mange potentielle flaskehalse betyder dog at forøgelse af max-kapaciteten vil kræve en omfattende investering, hvorfor dette ikke vurderes at være en farbar vej med henblik på at øge produktionen.

Dampopvarmede varmevekslere

I Ekstraktionen er der foretaget en undersøgelse af flaskehalsproblemer i forbindelse med overførsel af varme fra overhedet (160°C) 2,8 bar procesdamp til

henholdsvis miscella og vand. Undersøgelserne, der er baseret på en detaljeret analyse af "zero effluent" kogeren 21E, giver følgende resultater:

- overhedningsvarmen, der kun udgør 3% af de tilførte ca. 1100 kW varme lægger beslag på ca. 50% af det varmeoverførende areal i 21E, hvilket reducerer 21E's kapacitet betydeligt.
- mætning af 2,8 bar damp ved vandindsprøjtning kan i teorien forøge 21E's kapacitet med op i mod 43%.

5.5 RCM-analyse af vedligehold på DOZC-valsens

DOZC-valsens i Møllen blev valgt som test for at vurdere om en RCM-analyse af vedligeholdet på Aarhus Oliefabrik kunne være velegnet til optimering af vedligeholdelsesprocedurer, reservedelslager m.m. Valsen er i sig selv ikke den mest kritiske komponent i processen, men passede dog omfangsmæssigt fint til en kort test.

Vedligehold på valsens kan opdeles i planlagt og ikke planlagt (havari) vedligehold. Før analysen var forholdet at der i 2002 blev udført i alt 21 arbejdsordrer, hvoraf 16 (76%) var planlagte og 5 (24%) uplanlagte arbejdsordrer. Omkostningerne til dette vedligehold var i alt 316.500 kr.

Efter analysen er forholdet nu at der skal udføres 24 arbejdsordrer, hvoraf 2 (8%) stadig vil være uplanlagt vedligehold (havarier) og 92% vil være planlagt vedligehold. De kritiske havarier fra tidligere er hermed elimineret.

Det planlagte vedligehold kan ydermere opdeles i udskiftning på fast tid FTM (18%) og tilstandsbaseret vedligehold CBM (82%).

Ved CBM er fordelens at dele ikke udskiftes, før de er tæt på svigt. Dermed spares reservedele. Hvis denne vurdering ligeledes kan foregå, mens maskinen producerer f.eks. ved vibrationstest af lejer, skal besparelsen i produktionstab inkluderes i besparelsen. Hos Århus Olie kan 67% af kontrollen foregå i drift.

Det samlede årlige vedligeholdsbudget er efter analysen på 167.000,- kr., altså en besparelse på 47%.

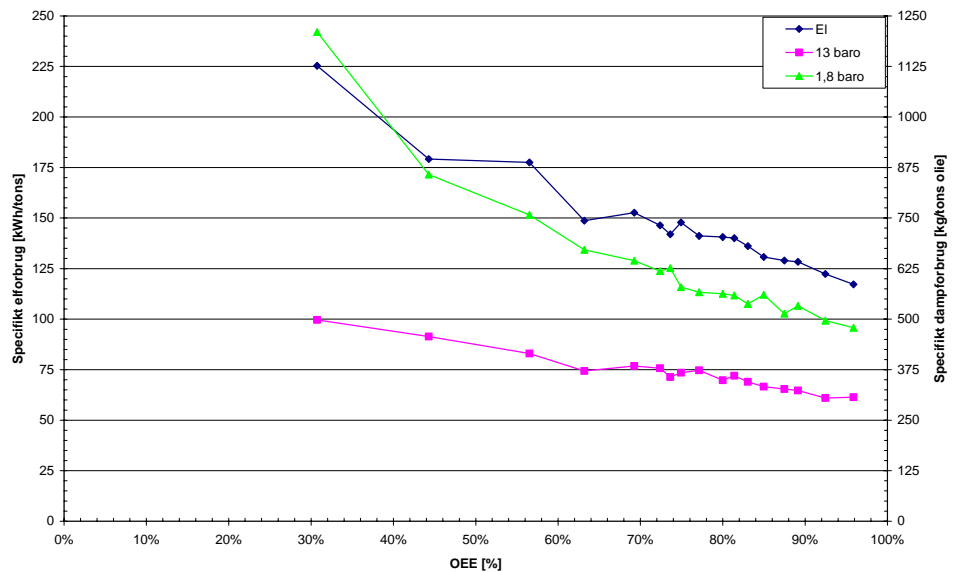
Tidsmæssigt kan vedligeholdet endvidere reduceres fra 610 timer (inkl. 491 timer under 3 ugers sommerstop) til optimalt 273 timer - altså en tidsmæssigt besparelse på 336 timer.

Ovenstående resultater er ikke enestående, men er et typisk billede af en RCM-analyse, så det må anbefales at udvide analysen til kritiske områder af fabrikken.

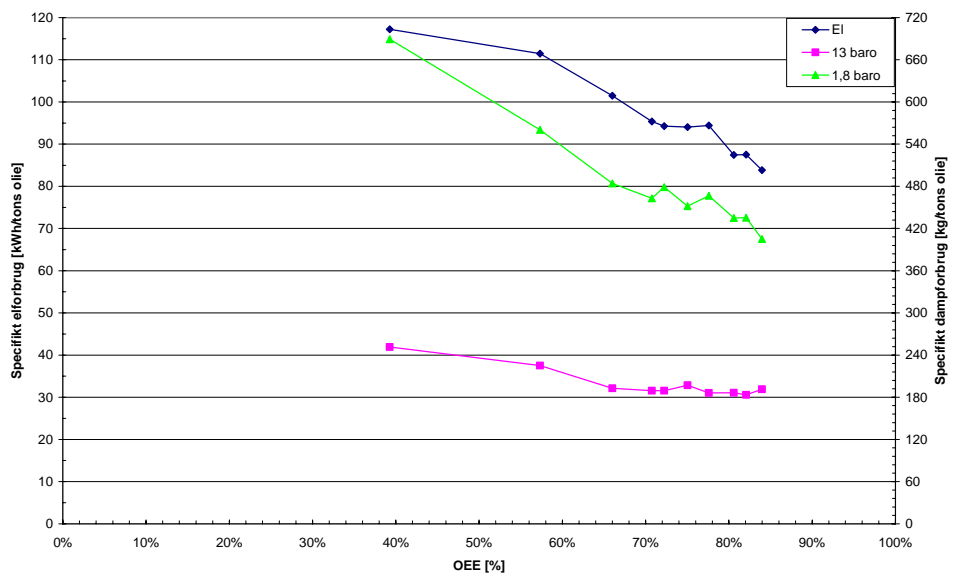
5.6 Energibesparelser

Kortlægningen af energiforbruget i ekstraktionen har entydigt vist at jo højere produktivitet (OEE-tal) ekstraktionslinien kører med, des lavere er det specifikke energiforbrug både for el og damp.

Nedenfor er denne sammenhæng vist grafisk for henholdsvis sheaolie- og rapsolieproduktion.



Figur 1 Specifikt energiforbrug ved sheaolieproduktion



Figur 2 Specifikt energiforbrug ved rapsolieproduktion

For sheaolieproduktionen er der en ret tydelig sammenhæng mellem stigende OEE-tal og faldende specifikt energiforbrug for både el og de to dampkvaliteter brugt i ekstraktionslinien. Fra og med OEE på 45% er sammenhængen endog med meget god tilnærmelse lineær.

For rapsolieproduktionen er tendensen den samme. Det specifikke energiforbrug falder med stigende OEE. Om sammenhængen er lineær, er dog ikke helt så entydigt som ved sheaolieproduktionen. Dette kan dog have noget at gøre med at antallet af datapunkter kun er 60% af antallet i sheaperioden samt at OEE i måleperioden stort set ikke har oversteget 85%.

Nøgletallene for energiforbruget i 2002 var følgende:

	El	13 baro damp	1,8 baro damp
Enhed	kWh pr. tons olie	kg pr. tons olie	kg pr. tons olie
Sheaolie	157,5	395	654
Rapsolie	101,5	484	193

Tabel 13 Specifikke energiforbrug til sheaolie- og rapsolieproduktionen i 2002.

Tages der udgangspunkt i det i Tabel 11 viste potentiale for reduktion af produktionstid eller forøgelse af produktion fås følgende energiforbrug:

OEE	Reduceret produktionstid			Forøget rapsolieproduktion		
	El	13 baro	1,8 baro	El	13 baro	1,8 baro
%	MWh/år	tons/år	tons/år	MWh/år	tons/år	tons/år
70	326	534	1.326	-277	-653	-1.578
75	629	991	2.624	-494	-1.296	-2.809
80	931	1.449	3.923	-648	-1.895	-3.767
85	1.233	1.906	5.221	-758	-2.485	-4.542
90	1.535	2.364	6.519	-814	-3.048	-5.088

Tabel 14 Energiforbrug ved forbedring af OEE i ekstraktionslinje

Det fremgår af Tabel 14 at der et meget stort potentiale for energibesparelser ved at hæve OEE og fastholde nuværende olieproduktion (reducere produktionstiden), mens en forøget rapsolieproduktion naturligvis giver et forøget energiforbrug.

Relativt er forøgelsen dog langt mindre end den relative produktionsforøgelse - eksempelvis øges rapsolieproduktionen med 42% ved OEE på 75%, mens elforbruget, 13 baro forbruget og 1,8 baro forbruget kun øges med henholdsvis 17%, 23% og 20%.

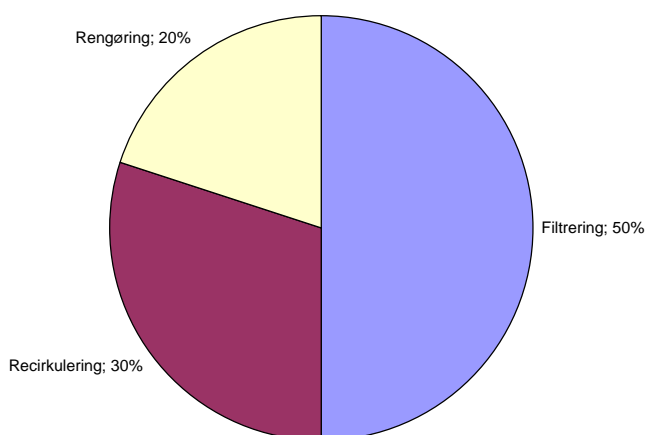
6 Andre cases

Dette kapitel præsenterer resultater vedrørende produktivitet og energieffektivitet fra et tidligere COWI-projekt på Aarhus Oliefabrik udført på filtreringslinier, samt COWIs opfølgning af energibevidst projektering på Danpo A/S.

6.1 Aarhus Oliefabrik A/S

Fra demonstrationsprojektet "Energirigtige procesanlæg - Pumpesystemer", udgivet for Foreningen af Rådgivende Ingeniører - F.R.I. i december 1999, er der indhentet følgende resultater vedrørende produktivitet:

Filtelinie H20 skifter imellem 3 forskellige driftstilstande: fuld filtrering, recirkulering eller rengøring.



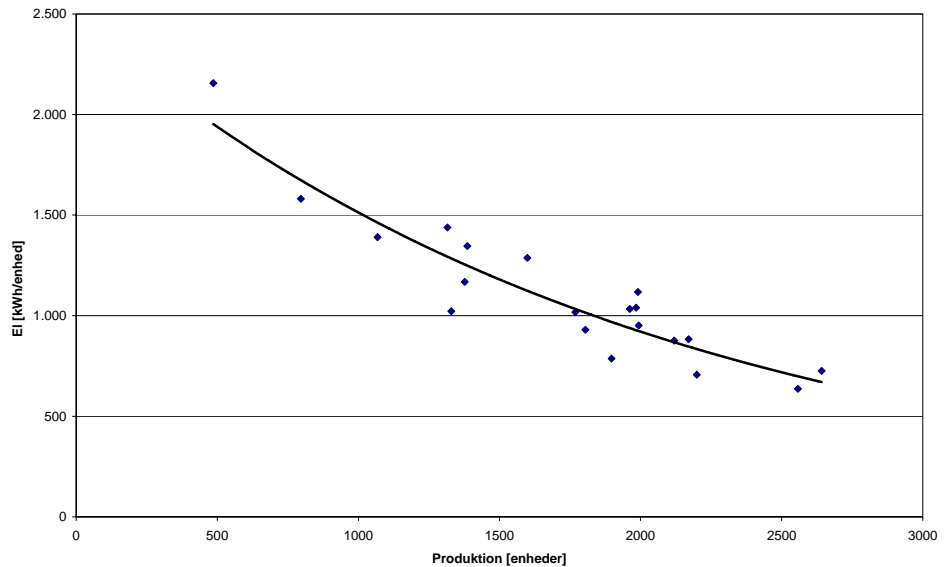
Figur 3 Fordeling af driftstid på filterlinie H20

Det er helt åbenlyst at produktiviteten af denne linie kun er på 50%.

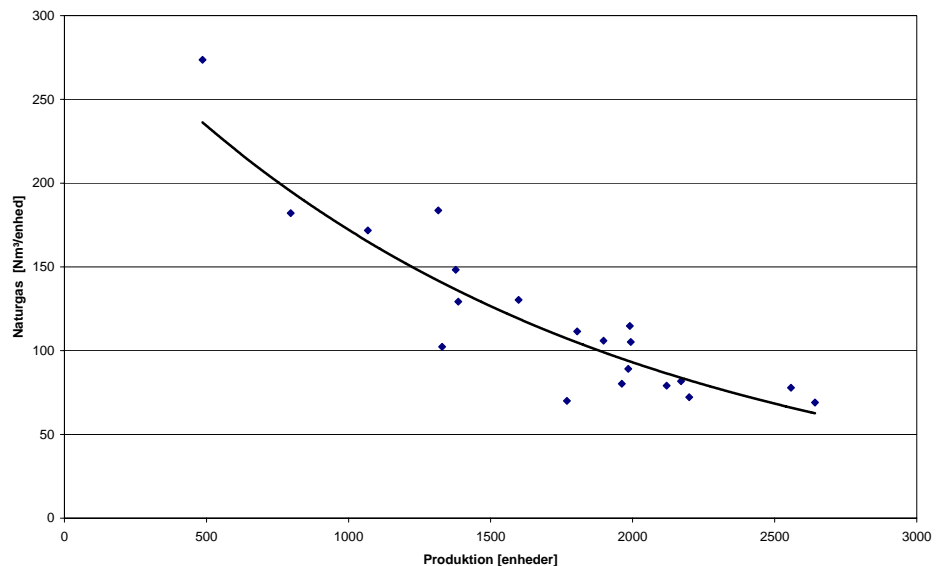
Ved en ændret styring af filterlinien, minimering af recirkulationstid og recirkuleret oliemængde muliggøres en reduktion af energiforbruget til recirkulation til ca. 15% af det nuværende forbrug.

6.2 Danpo A/S

Ved opfølgning på udbyttet af energibevidst projektering af Danpo A/S' nye forædlingsfabrik i Farre blev den i nedenstående to figurer viste sammenhæng mellem produktion og energiforbrug fundet:



Figur 4 Specifikt elforbrug som funktion af produktionsmængden



Figur 5 Specifikt gasforbrug som funktion af produktionsmængden

Disse resultater fra Danpo A/S underbygger resultaterne fra ekstraktionslinien på Aarhus Oliefabrik om, at det specifikke energiforbrug falder med stigende produktion og dermed stigende OEE.

7 Energi & Produktionsaudit

Ud over de direkte målbare resultater af projektets arbejde med produktivetsforbedringer på de to case-virksomheder er der kommet nogle generelle resultater ud af projektet vedrørende sammenhængen mellem produktivetsforbedringer og energieffektivitet. Der er også udarbejdet en metodik til brug ved en produktionsteknisk gennemgang af en produktionsvirksomhed - et såkaldt produktionsaudit.

Arbejdet med en teoretisk afdækning af produktivetsforbedringers indvirkning på energieffektiviteten i en produktionsvirksomhed har været rettet imod at synliggøre potentialet for energibesparelser ved produktivetsforbedringerne, når disse bruges til at forøge produktionen, eller de bruges til at rationalisere produktionen.

Arbejdet med en metodik til brug ved gennemførelse af produktionsaudits skal ses som et forsøg på at skabe en overordnet ramme for indholdet i et produktionsaudit og skal derudover være en form for drejebog for fremgangsmåden ved et produktionsaudit.

7.1 Energi og energieffektivitet

I traditionel forstand har energibesparelser i industrien baseret sig på optimering af virkningsgrader på maskiner og procesudstyr - herunder installation af sparemotorer m.v., genvinding af overskudsvarme fra processer, egentlig optimering af delprocesser i produktionen samt optimering af hjælpeanlæggene (varme, køling og trykluft) sammensætning. Formålet er bedst mulig energieffektivitet for både enkeltkomponenter og hele systemet.

Dette arbejde har langt hen ad vejen skabt store energibesparelser inden for industriel produktion og ført til gennemgribende ændringer i mange virksomheders energisystemer.

Men når alle processer er energioptimeret, når hjælpeanlæggene er opbygget energieffektivt, når belysningen er energioptimeret, når varmegenvinding er implementeret fuldt ud etc., er det så muligt at komme videre med reduktionen af industriens energiforbrug, og i givet fald hvordan?

Ja, det er muligt!

Kodeordet er produktionsoptimering eller produktivitetsforbedringer.

Et simpelt eksempel kunne være følgende: En virksomhed producerer 1500 emner om ugen baseret på 3-holdsskift 5 dage om ugen, det vil sige en produktion på 100 emner pr. skift. Ved optimering af produktionen er det muligt at hæve produktionen til 150 emner pr. skift og det er nu kun nødvendigt med 10 skift pr. uge, hvorfor natskiftet kan udelades.

Energibesparelsen ved denne optimering består både i en reduktion af forbruget af lys, varme og ventilation om natten samt en reduktion af diverse processers tomgangstab, da stilstandstiden reduceres med 33%.

Denne form for besparelser kan ikke opnås med de traditionelle energieffektiviseringer, men er altså opnåelige med produktivitetsforbedringer.

Nedenfor gives der først et par definitioner på den terminologi, der gennemgående vil blive benyttet i forbindelse med energiforbrug. Derefter gives en mere uddybende gennemgang af de sammenhænge, der formodes at gøre sig gældende mellem energiforbrug og produktivitetsforbedringer.

7.1.1 Definitioner

I forbindelse med dette projekt er det valgt at opdele energiforbruget i såkaldte "variable energiomkostninger" og "kapacitetsenergiomkostninger". Definitionen på disse to begreber er følgende:

Variable energiomkostninger indbefatter de energiforbrug, der er direkte afhængige af produktionens størrelse, det vil sige energiforbrug til alt maskineri i proceslinierne, procesluft, procesvarme, proceskøling og procesrelateret ventilation.

Kapacitetsenergiomkostninger indbefatter de energiforbrug, der IKKE er direkte afhængige af produktionens størrelse, det vil sige energiforbrug til lys, rumopvarmning, varmt brugsvand, almindelig rumventilation, administrationslokaler, porte, trucks m.m.

Denne opdeling er foretaget med henblik på at kunne give en mere præcis analyse af produktivitetsforbedringernes indvirkning på energiforbruget og de energibesparelser, der kan forventes ved gennemførelse af effektiviseringstiltag i produktionsvirksomheder.

7.1.2 Energi og produktivitet

I dette afsnit belyses de sammenhænge, der er fundet mellem produktivitetsforbedringer og energiforbrug.

For at kunne vurdere produktivitetsforbedringernes indflydelse på energiforbruget på en virksomhed, er det først og fremmest vigtigt at få klarlagt virksomhedens primære formål med gennemførelse af produktivitetsforbedringer.

I hovedparten af tilfældene vil det overordnede formål med effektivisering af produktionen falde i en af følgende to kategorier:

- 1 Forøgelse af produktionen ved at
 - forøge reel produktionstid (minimering af produktionsstop)
 - ensarte og reducere cyklustider (flaskehalse).
- 2 Rationalisering af produktionen (konstant produktion) ved at
 - reducere ressourceforbrug (råvarer, energi, vand, mandskab m.m.)
 - reducere nødvendig produktionstid (færre skift)
 - reducere pladsbehov (lagerplads, produktionslokaler m.m.).

De helt generelle forhold ved implementering af effektiviseringer og produktivitetsforbedringer peger på at disse tiltag primært vil have direkte indflydelse på de variable energiomkostninger, det vil sige det energiforbrug, der er direkte relateret til drift af maskiner og processer.

For kapacitetsenergiomkostningers vedkommende vil det som oftest gælde at disse enten slet ikke eller kun i begrænset omfang påvirkes af effektiviseringer og produktivitetsforbedringer, da dette energiforbrug som anført i store træk er uafhængigt af produktionen.

Nedenfor gives en vurdering af de generelle energiforhold i disse to kategorier med udgangspunkt i begreberne "variable energiomkostninger" og "kapacitetsenergiomkostninger", der er defineret ovenfor.

7.1.3 Forøgelse af produktionen

Produktivitetsforbedringer med henblik på forøgelse af produktionen i den tilgængelige tid (fastholdelse af antal skift) vil overordnet kunne inddeles i følgende 2 grupper:

- Forøgelse af **produktionstiden** ved minimering af produktionsstop, såvel planlagte (omstillingstid, vedligehold, møder m.m.) som uplanlagte stop (havari, ekstraomstillinger på grund af u hensigtsmæssig produktionsplanlægning m.m.).
- Tilpasning og reduktion af **cyklustider** (CT), således at de enkelte delprocessers CT bliver nogenlunde ens eller optimalt helt ens.

For begge grupper af produktivitetsforbedringer gælder det at det primære fokus er reduktion af stilstandstid (= kapacitetstab) - herunder reduktion af tomgangsdrift og nedetid.

Variable energiomkostninger: For begge grupper af produktivitetsforbedringer gælder det at de vil medføre en reduktion af energiforbruget eller rettere energitabet forårsaget af tomgangsdrift. Da energiforbruget under produktion til gengæld er højere end i tomgang, vil en omlægning af tomgangsdrift til egentlig produktion medføre en forøgelse af det absolutte energiforbrug.

I forhold til de "variable energiomkostninger" betyder dette at produktivetsforbedringer med henblik på forøgelse af produktionen reelt medfører en stigning i absolut energiforbrug - dog med den tilføjelse at det specifikke energiforbrug, energiforbrug pr. produceret enhed [kWh/enhed], reduceres.

I de tilfælde hvor forøgelse af produktionstiden og nedbringelse af cyklustider opnås ved implementering af en mere effektiv maskine/proces/teknologi, der samtidig har en tilstrækkelig bedre energieffektivitet end det eksisterende, kan den forøgede produktion samtidig afstedkomme en egentlig reduktion af det absolutte energiforbrug til fremstillingsprocessen og dermed de variable energiomkostninger.

Kapacitetsenergiomkostninger: Ved forøgelse af produktionen vil der ikke umiddelbart ske ændringer i kapacitetsenergiomkostninger, da disse energiforbrug (lys, rumvarme, ventilation m.m.) ikke påvirkes nævneværdigt af et højere aktivitetsniveau i produktionslinierne. Undtagelsen er de enkeltstående tilfælde, hvor helt specielle forhold, som eksempelvis en meget varmeafgivende proces (støbeproces), vil medføre mindre behov for rumvarme eller et meget større behov for ventilation.

7.1.4 Rationalisering af produktionen

Produktivetsforbedringer med henblik på en rationalisering af udgifterne til den eksisterende produktionsmængde (fastholdelse af produktionsmængde) vil overordnet kunne inddeles i følgende 4 grupper:

- Reduktion af **ressourceforbrug**, såsom råmaterialer, emballage, energi, vand, kemikalier, mandskab m.m.
- Reduktion af den nødvendige **produktionstid**, det vil sige gennemførelse af samme produktion på kortere tid.
- Reduktion af **pladsbehov**, såsom lagerplads, produktionslokaler m.m.
- Reduktion af **kapitalbinding** i varer ved minimering af råvarelager, mellemvarelager, færdigvarelager, reservedelslager m.m.

Reduktion af produktionens ressourceforbrug vil stort set altid medføre en absolut energibesparelse - enten som en direkte besparelse på virksomheden (variable energiomkostninger) eller også indirekte hos leverandører, transportfirmaer, etc.

Reduktion af den nødvendige produktionstid og dermed reduktion i antallet af skift, eksempelvis fra 3-holdsskift til 2-holdsskift, vil medføre en absolut energibesparelse på kapacitetsenergiomkostninger, såsom lys, rumvarme og ventilation. Desuden må det forventes at forbedret udnyttelse af produktionstiden og tilpasning af cyklustider har reduceret energitab ved tomgangsdrift og dermed også reduceret de variable energiomkostninger.

Reduktion af pladsbehov vil også medføre en absolut energibesparelse på kapacitetsenergiomkostninger, såsom lys, rumvarme og ventilation, samt i tilfælde af reduceret behov for kølelagere; kølebehov og dermed el.

Reduktion af kapitalbinding i varer medfører ikke direkte en energibesparelse, men kan i nogle tilfælde føre til reduktion i behovet for lagerplads og dermed medføre energibesparelser som beskrevet ovenfor.

Variable energiomkostninger: I de tilfælde, hvor produktivitetsforbedringer bruges til reduktion af ressourcebehovet, vil energibesparelserne i selve virksomheden findes som direkte procesrelaterede besparelser. Derudover forventes det at nedbringelse af produktionstiden vil resultere i reducerede energitab til tomgangsdrift, hvilket også henhører under procesrelaterede besparelser - altså variable energiomkostninger.

I forhold til de "variable energiomkostninger" betyder dette at reduktion af ressource- og tidsforbrug med henblik på rationalisering af produktionen medfører en absolut reduktion i energiforbruget, og dermed også at det specifikke energiforbrug, energiforbrug pr. produceret enhed [kWh/enhed], reduceres.

Kapacitetsenergiomkostninger: I de tilfælde hvor produktivitetsforbedringer bruges til reduktion af tidsforbrug og pladsbehov (herunder kapitalbinding), vil der som hovedregel kunne opnås besparelser på kapacitetsenergiomkostninger, da disse energiforbrug (lys, rumvarme, ventilation m.m.) i høj grad påvirkes af benyttelsestiden af lagre og produktionslokaler. I helt specielle tilfælde hvor produktionsprocesserne er så varmeafgivende, at de bidrager væsentligt til opvarmning af produktionslokalerne, kan den reducerede benyttelsestid medføre øget behov for rumvarme.

Generelt medfører produktivitetsforbedringer med henblik på rationaliseringer en egentlig reduktion i det absolutte energiforbrug og med forudsætning om konstant produktion dermed også et reduceret specifikt energiforbrug.

7.2 Metodik

Arbejdet med udvikling af en metodik til brug ved et produktionsaudit har resulteret i følgende grundlæggende 7-trins metodik:

- Virksomhedsbeskrivelse og motivation for produktionsaudit
- Beskrivelse af produktion, produktionsapparat og processer
- Kortlægning af aktuel driftssituation
- Udvælgelse af indsatsområder
- Detailkortlægning af udvalgte områder
- Udarbejdelse af potentiale for produktivitetsforbedringer

- Udarbejdelse af forslag til produktivetsforbedringer

Nedenfor præsenteres et mere detaljeret indhold af de ovenstående 7 hovedpunkter i et produktionsaudit gældende for en hvilken som helst type produktionsvirksomhed.

Sidst i afsnittet forefindes en liste over definitioner på en række produktionstekniske begreber, der er væsentlige for forståelsen af de tekniske analyser m.v., der foretages i et produktionsaudit.

7.2.1 Virksomheden

Første fase i produktionsauditet er at give en overordnet virksomhedsbeskrivelsen indeholdende en beskrivelse af:

- Virksomhedens historie
- Virksomhedens størrelse
- Virksomhedens organisation
- Virksomhedens produkter
- Virksomhedens motivation for et produktionsaudit
- Virksomhedens hensigt med produktionsoptimering
- Udvalgelse af virksomhedens ankermand til produktionsauditet.

Denne introduktion af virksomheden giver et første indblik i hvad det er for en virksomhed, der arbejdes med, og hvilke mål virksomheden har med produktionsoptimering - rationaliseringer eller forøget produktion.

Valget af virksomhedens ankermand i projektet er yderst væsentligt, da denne person skal brænde for emnet for at opnå succes med projektet.

7.2.2 Produktion, produktionsapparat og processer

I fase 2 af produktionsauditet foretages en gennemgang af produktion, fabrikslayout, produktionsanlæg, forsyningsanlæg, processer samt energi- og vandforbrug.

Produktion

Der foretages en kortlægning af produktionen for at få et indblik i den aktuelle driftssituation og produktionstal samt en vurdering af råvarebehovet. Følgende undersøges:

- Overordnet beskrivelse af produktionsforløbet

- Produktionstal fordelt på produkter
- Råvarebehov

Fabrikslayout

Fabrikslayoutet beskrives og tegnes op således at følgende områder kan kortlægges og analyseres:

- Fabriksbygninger (administrations-, produktions-, lagerbygninger m.m.)
- Lagre og mellemlagre
- Transportbehov internt i fabrikken
- Produktflow

Hermed er der skabt et overblik over virksomheden og dermed grundlag for at lave en grundig beskrivelse af produktionsanlægget, processer m.m.

Produktionsanlæg

Produktionsanlægget, det vil sige maskiner, procesanlæg m.m. er kernen i virksomhedens produktion. En beskrivelse af produktionsanlægget er helt oplagt nødvendig for at kunne vurdere virksomhedens kapacitet og kapacitetsudnyttelse. Følgende beskrives:

- Maskinbeskrivelse
- Maskinkapacitet (leverandørdata, 100% last)
- Antal maskiner pr. proces
- Kapacitet pr. proceslinie
- Kapacitet pr. delproces
- Vedligeholdelsesstade
- Virkningsgrader
- Udskiftningshorisont

Forsyningsanlæg

Forsyningsanlæggene, der forsyner produktionen med procesvarme, trykluft og køling er en væsentlig del af det samlede billede af produktionen, hvorfor der naturligvis må foreligge en beskrivelse og vurdering af dette for at kunne vurdere aktuel kapacitetsudnyttelse og øvre grænse for kapacitetsudnyttelsen.

- Trykluftanlæg - antal kompressorer, type, kapacitet m.m.
- Procesvarmeanlæg (damp/hedt vand) - kapacitet m.m.

- Centralvarmeanlæg - kapacitet, temperaturer m.m.
- Køleanlæg - antal kompressorer, type, kapacitet m.m.
- Vedligeholdelsesstade
- Virkningsgrader
- Udskiftningshorisont

Processerne

For at få et indblik i hvordan processerne forløber hen igennem produktionsforløbet og hvordan de indvirker på hinanden, er det væsentligt at have en grundig beskrivelse af hver eneste delproces.

- Procesbeskrivelse - hvordan forløber hver enkelt proces
- Leverandør til proces - altså forudgående proces eller lager
- Kunde til proces
- Kvalitetskrav
- Procestider
- Energibehov og energikvalitet (bl.a. temperaturniveau)

Energi og vand

Da et afledt resultat af produktivitetsforbedringer er en reduktion af virksomhedens specifikke energiforbrug, og alt afhængig af formålet med produktivitetsforbedringer også en absolut reduktion, er det nødvendigt at have et overblik over energiforbruget - herunder også vandforbruget, da dette ofte har indvirkning på energiforbruget. Derfor undersøges følgende:

- Overordnede data for energi- og vandforbrug
- Identifikation af målemuligheder for energi- og vandforbrug

7.2.3 Kortlægning af aktuel driftssituation

I denne fase 3 af produktionsauditet foretages en kortlægning af den aktuelle driftssituation for at skabe overblik og gennemsigtighed i de reelle produktionsforhold.

Ideen med denne indsats er at få fastlagt den reelle produktivitet i de enkelte delprocesser i produktionen.

Tidsregistreringer

For at få det rette billede af hvordan tiden bruges i produktionen, det vil sige

hvordan den tilgængelige tid fordeler sig på reel produktionstid, nedetid og tomgangstid, er det nødvendigt at lave tidsregistreringer i produktionen. Derudover er det nødvendigt at måle de reelle cyklustider, det vil sige produktionstid pr. emne/batch på hver maskine/procesanlæg.

- Fastlæggelse af tilgængelig tid
- Planlagte produktionsstop (til pauser, møder, vedligehold m.m.)
- Registrering af nedetid i produktionen (stoptid til uforudsete stop)
- Måling af reel cyklustid i hver delproces

Flaskehalse

På basis af tidsregistreringerne er det muligt at finde frem til produktionens flaskehalse, hvilket er helt nødvendigt for at identificere indsatsområder.

- Identifikation af flaskehalse

Kortlægning af aktuel produktivitet

På basis af tidsregistreringer og identifikation af flaskehalsene er det muligt at beregne nøgletal for den aktuelle produktivitet i virksomheden.

- Overall Equipment Efficiency (OEE)
- Produktionsrate
- Succesrate
- Tilgængelighed
- Tomgangsdrift

Interviews af medarbejdere

Virksomhedens medarbejdere i produktionen er en væsentlig informationskilde ved et produktionsaudit. De har førstehåndskendskab til de daglige driftsforhold og ved hvilke hændelser der påvirker produktionen i både negativ og positiv retning. Derfor er det af største vigtighed at medarbejderne interviewes.

- Interviews

7.2.4 Indsatsområder

Fase 4 i produktionsauditet er at udvælge de indsatsområder, der i henhold til virksomhedens målsætning med auditet er de mest relevante, samt udvælge de medarbejdere, der skal deltage aktivt i den videre proces på baggrund af disse valg.

- Udvalgelse af indsatsområder

- Udvælgelse af medarbejdere/produktionsteams

7.2.5 Detailkortlægning af indsatsområder

Fase 5 af produktionsauditet går på at gennemføre en omfattende detailkortlægning af de indsatsområder, der er udvalgt i fase 4.

Da de valgte indsatsområder kan være alt fra forøgelse af reel produktionstid til omstrukturering af organisationen, kan der ikke her gives et entydigt oplæg til hvad fase 5 kan indeholde. Nedenfor er dog nævnt nogle af de muligheder det kunne dreje sig om:

- Detailgennemgang af tidsforbrug ved delproces
- Detailgennemgang af kvalitetsniveau fra delproces
- Detailgennemgang af intern logistik i virksomheden
- Detailovervågning af mellemlagre
- Produktionsplanlægning

7.2.6 Potentiale for produktivetsforbedringer

Fase 6 indeholder en beregning og sandsynliggørelse af det potentiale, der kan opnås ved produktivetsforbedringer på virksomheden. Heri er blandt andet indeholdt:

- Forøgelse af tilgængelig produktionstid
- Produktionsforøgelse
- Reduktion af ressourceforbrug (herunder energi og vand)
- Reduktion af mandskabsforbrug
- Reduktion af lagre
- Reduktion af vare i arbejde
- etc.

7.2.7 Konkrete tiltag til produktivetsforbedringer

Sidste fase i produktionsauditets 7-trins raket er at foreslå konkrete tiltag til opnåelse af produktivetsforbedringerne. Dette kan blandt andet indeholde:

- Forøgelse af produktionskapacitet i delproces ved ombygning af eksisterende processtyr eller indkøb af ny eller parallel produktionslinie

- Ændring af fabrikslayout
- Forslag til reorganisering
- Optimering af vedligeholdelsesprocedurer til imødegåelse af uplanlagte driftsstop
- etc.

7.3 Definitioner

I dette afsnit gives definitionen på en række produktionstekniske begreber, der er væsentlige for forståelsen af de tekniske analyser m.v., der foretages i et produktionsaudit.

Cyklustid	Fra et emne ankommer til en delfremstillingsproces, til det efter bearbejdning atter kan forlade processen.
Teoretisk cyklustid	Den teoretiske cyklustid er ofte oplyst af maskinleverandøren.
Aktuel cyklustid	Den aktuelle cyklustid er den tid, der er registreret i en given driftsperiode.
OEE beregning	I kortlægningsprocesser anvendes ofte en metode baseret på OEE - "Overall Equipment Efficiency". På dansk anvendes udtrykket "udstyrseffektivitet". Udstyrseffektiviteten er, meget forenklet, et udtryk for i hvor stor en del af den til rådighed værende produktionstid der produceres fejlfrie emner.
Maskintid	Maskintiden er defineret som den tid, der i gennemsnit anvendes til maskinel bearbejdning af et emne, regnet fra emnet er placeret i maskinen, til emnet er bearbejdet.
Håndtid	Håndtid er defineret som den tid, der i gennemsnit anvendes til manuel håndtering af et emne.
Tilgængelig tid pr. dag	Tilgængelig tid pr. dag er defineret som den tid produktionsanlæggene er bemanded. I en driftsform med treholdsskift er den tilgængelige tid pr. døgn: 3 x 8 timer = 24 timer.
Planlagte produktionsstop	Planlagte produktionsstop er stop til planlagte aktiviteter som vedligehold, møder, omstillinger mv.
Uplanlagte produktionsstop	Uplanlagte produktionsstop er utilsigtede stop som havari, omstillinger som følge af fejlpositioner, spontane møder mv.
Producerede emner	Antal producerede emner er inklusive defekte emner.
Succesrate	En succesrate på 95% betyder at 95% af alle producerede emner er fejlfri.
Teoretisk driftstid	Er defineret som den tilgængelige tid minus planlagte produktionsstop.

Produktionstid	Er den faktisk medgåede tid til produktion.
Tomgangsdrift	Når en proces forbruger energi uden at producere.
Tilgængelighed	Tilgængeligheden er et udtryk for i hvor stor en del af den planlagte produktionstid produktionsudstyret reelt har kunnet producere.
Nedetid	Uplanlagte stop i den teoretiske driftstid.
Produktionsraten	Produktionsraten er forholdet mellem den teoretiske/optimale cyklustid og den aktuelle cyklustid.
Hastighedsstabilitet	Hastighedsstabilitet er et udtryk for i hvilken grad produktionsudstyret producerer stabilt inden for en defineret tidsperiode.
Præstationsraten	Er udtrykt som produktet af produktionsraten og hastighedsstabiliteten.

Bilag 1

Produktionsfilosofier

Nedenstående ses først oversigten over de 17 produktionsfilosofier med en ultrakort indholdsbeskrivelse

- The Focused Factory
"Specialisering og forenkling af produktionsprocessen og produktsortiment"
- Just-in-Time (JIT)
"Optimering af procesflow til imødegåelse af spild i produktionen - herunder ordreinitieret produktion og optimering af tidsforbrug, kassation, omstillingstider, lagre m.v."
- Total Quality Management (TQM)
"Indbygget kvalitet og optimering af kvalitet i produkt og proces gennem ansvarsbevidsthed og forbedret organisering".
- Total Productive Maintenance (TPM)
"Optimering og systematisering af forebyggende vedligehold med henblik på reduktion af tidstab til udbedringer af havari og uforudsete stop".
- Kaizen
"Kontinuerlige forbedringer til imødegåelse af spild samt kompetenceopbygning af hurtig og adaptiv læring hos medarbejderne".
- Concurrent Engineering
"Fokus er på kundens behov og hvorfor forbedring af produktudviklingen gennem integration af produktion, produktionsforberedelse, markedsføring og salg er hovedindsatsområdet".
- UPS - Udvikling af ProduktionsSystemer
"Specialisering og forenkling i en fokuserende idealfabrik, hvor der søges opbygget en hensigtsmæssig arbejdsorganisering, vareflow og produktionsstyring".
- World Class Manufacturing
"Komplementær anvendelse af JIT, TQM, TPM og medarbejderinddragelse med henblik på at opnå kontinuerlige og hurtige forbedringer inden for kvalitet, omkostningsreduktion, kundeservice og fleksibilitet".
- ViPS - Virksomhedstilpasset ProduktionsStyring
"Udvikling af nyt eller forbedret produktionsstyringssystem med fokus på produktionens styrbarhed, autonomi og forenkling".
- Lean Production
"Trimning af virksomheden - både produktionsapparatet og de teknisk-administrative systemer - med fokus på eliminering af spild, overordnet effektivitet i stedet for proceseffektivitet i de enkelte led og kontinuerlig udvikling".

- **Mass Customization**
"Optimering af fleksibilitet og omstillingsevne med henblik på at levere kundetilpassede produkter til lave enhedsomkostninger, blandt andet ved modularisering af produkterne".
- **Time Based Management**
"Optimering af produkternes gennemløbstid ved eliminering af ikke værdiskabende aktiviteter samt fokusering på kvalitets- og produktivitetsforbedringer".
- **Supply Chain Management**
"Systemintegration og interorganisatorisk samarbejde langs forsyningskæden - det vil sige fokus på hele logistiksystemet".
- **Business Process Reengineering**
"Kortlægning og optimering af eksisterende arbejdsprocesser i virksomheden med henblik på markante/drastiske forbedringer i forhold til de gamle processer samt implementering af nye forretnings- og organisationsprincipper og ny informationsteknologi".
- **Agile Manufacturing**
"Optimering af virksomhedens adræthed, det vil sige evnen til at tilpasse og forandre sig i forhold til ændrede produktionsforudsætninger".
- **Holonic Manufacturing**
"Dannelse af selvstyrende og selvregulerende systemer og organisatoriske enheder med henblik på udnyttelse af autonomien og individualiteten".
- **Den fraktale fabrik**
"Indførelse af selvstyrende og selvregulerende grupper med henblik på udnyttelse af alle medarbejdernes kvalifikationer og dermed opnå dynamik".
- **Den virtuelle virksomhed**
"Oprettelse af midlertidige og probleminitierede netværk, blandt andet i forbindelse med produktion og produktudvikling".