

Systemdynamik – *En metode til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse*

Af Lars W. Ranfelt*)

Resumé

Systemdynamik er en metode, som er specielt anvendelig til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse. I artiklen præsenteres metoden og dens karakteristika vises at være i god overensstemmelse med de krav, man må stille til overordnet langsigtet planlægnings og policy analyse (OLP-analyse).

Der refereres endvidere til en større sektoranalyse (skovsektorens langsigtede udvikling), hvor metoden har vist sig anvendelig.

1. Indledning

I denne artikel præsenteres en metode til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse: *Systemdynamik*.

Systemdynamik kan opfattes som et analyseredskab, ved hjælp af hvilket, beslutningstagerne bedre sættes i stand til at overskue, beskrive, vurdere og styre komplicerede systemers *langsigtede udvikling*.

Systemdynamik er *et generelt værktøj*, der kan anvendes på alle systemer, herunder virksomheden. Metoden er så godt som ukendt indenfor driftsøkonomiens område i Danmark, hvorimod den er meget anvendt i udlandet, først og fremmest U.S.A.

*) Cand. merc. & lic. agro., ansat i D.O.N.G.s finansafdeling. Artiklen modtaget juli 1981.

Systemdynamik – *En metode til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse*

Af Lars W. Ranfelt*)

Resumé

Systemdynamik er en metode, som er specielt anvendelig til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse. I artiklen præsenteres metoden og dens karakteristika vises at være i god overensstemmelse med de krav, man må stille til overordnet langsigtet planlægnings og policy analyse (OLP-analyse).

Der refereres endvidere til en større sektoranalyse (skovsektorens langsigtede udvikling), hvor metoden har vist sig anvendelig.

1. Indledning

I denne artikel præsenteres en metode til overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse: *Systemdynamik*.

Systemdynamik kan opfattes som et analyseredskab, ved hjælp af hvilket, beslutningstagerne bedre sættes i stand til at overskue, beskrive, vurdere og styre komplicerede systemers *langsigtede udvikling*.

Systemdynamik er *et generelt værktøj*, der kan anvendes på alle systemer, herunder virksomheden. Metoden er så godt som ukendt indenfor driftsøkonomiens område i Danmark, hvorimod den er meget anvendt i udlandet, først og fremmest U.S.A.

*) Cand. merc. & lic. agro., ansat i D.O.N.G.s finansafdeling. Artiklen modtaget juli 1981.

2. Overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse

Overordnet langsigtet planlægnings- og policy analyse – her forkortet til OLP-analyse, kan defineres ved følgende karakteristika:

- *lang tidshorison*t, d.v.s. ikke begrænset til konventionel planlægningshorison, men så lang, at den omhandler den fremtidige tidsperiode, som nutidige beslutninger influerer på, og således at man kan foregribe fremtidige uønskede effekter i tide.
- *bredt perspektiv*, d.v.s. at analysen ikke er begrænset til en sektor eller en disciplin, men indeholder alle de variable og sociale mekanismer, som vedrører det studerede problem. Dette indebærer et interdisciplinært perspektiv, hvilket fra et forskningsmæssigt synspunkt nødvendiggør tværfaglighed.

Problemer i forbindelse med OLP-analyse er:

- ikke mangel på information, tværtimod, men at den nødvendige information, for det meste ikke foreligger i form af statistisk materiale, men snarere som skreven litteratur eller som praktikerens mentale modeller, d.v.s. som den viden og intuition, som praktiske beslutningstagere besidder.

Dette betyder, at der ligger et problem i, at få samlet denne spredte viden, at få den generaliseret og operationaliseret, således at den kan blive vejledende. Endvidere gælder det, at når nye problemer bliver studeret i et nyt perspektiv og med en usædvanlig tidshorison, er der en mangel på anvendelige begreber, teorier og teknikker, som kan reducere kompleksiteten og bringe orden i mængden af usammenhængende detaljier.

De *konklusioner*, der kan drages på grundlag af OLP-analyse, er først og fremmest af kvalitativ natur. På trods heraf, kan kvantitative metoder være til stor hjælp i analyse-processen, idet disse kan være med til at gøre *forudsætningerne eksplicite* og eliminere logiske fejl ved udledningen af beslutningernes konsekvenser.

Kravet til OLP-analyse er, at den indeholder følgende faktorer:

- dynamisk analyse, fordi meget få variable er konstante over den lange tidshorison, som analysen indebærer.
- alternative scenarier, fordi OLP-analyse *ikke* forsøger at *forudsige*

- fremtidige hændelser, men i stedet søger at klarlægge *mulige udviklingstrende*, forårsaget af det studerede fænomen.
- deskriptiv information, da den meste viden om sociale systemers adfærd ikke er tilgængelig i statistisk form, men i stedet foreligger som kvalitativ information.
 - lethed i kommunikation, idet det derved er nemmere at få inddraget de praktiske beslutningstagere som informationskilde, og på denne måde få tilført den nødvendige deskriptive information.

Traditionelt har metoden omkring OLP-analyse været verbal diskussion i forbindelse med f.eks. høringer, hvid bøger, scenarie- og delfi teknik.

Den teknologiske udvikling har imidlertid forsynet os med nye *formelle metoder*, som f.eks. lineær programmering, økonometri og simulation, og det er i denne forbindelse at systemdynamikken kan yde et bidrag.

3. Metodens baggrund

Sidst i 1950'erne udviklede J. W. Forrester ved M.I.T. en analysemetode, »Industrial Dynamics«, med henblik på konstruktion af styringsmodeller til brug ved løsning af private virksomheders managementproblemer (1).

I løbet af 1960'erne videreudvikledes metoden til det, vi idag forstår ved systemdynamik, og på dette grundlag konstruerede Forrester en model til analyse af en storbys langsigtede udvikling (2). Denne model viste, at metoden havde et langt større anvendelsesområde, hvilket var baggrunden for opstillingen af en model til analyse af verdens langsigtede industrielle og befolkningsmæssige udvikling (3). Denne model blev foreløberen for en analyse af Meadows et al. (4), som blev populariseret i »Grænser for vækst« (5).

Det er især de tre sidstnævnte modeller, der har bidraget til et gøre systemdynamik kendt.

Opstilling af matematiske modeller til brug for computerbearbejdelse er et område, som kun har eksisteret nogle få årtier. Alligevel er der allerede fremkommet en række forskellige metodologiske »skoler«, baseret på alternative filosofier. Indenfor samfundsvidenskaben kan f.eks. identificeres følgende »skoler«: Lineær programmering, input/output analyse, økonometri og systemdynamik.

Disse modelleringsskoler har brugen af datamaskinen til fælles, men de afviger en del fra hinanden, når talen er om f.eks. modelleringsprocedurer, computeranvendelse, systemopfattelse og anvendelse af modellen i beslutningsprocessen. Desuden bygger de enkelte »skoler« på forskellige teorier, teknikker, EDB-sprog og accepteret procedure for modelkonstruktion og evaluering. Metoderne har ofte ikke angivet disse forhold eksplicit, men har indbygget en underforstået model af modelleringsprocessen.

Disse forskellige modelleringsparadigmer medfører, at et bestemt problem kan blive defineret forskelligt. Modelbyggeren er »biased« af paradigmet. Han betragter verden på baggrund af sit paradigma, og dette er måske årsag til, at der kan opstå ufrugtbare diskussioner på tværs af paradigmerne, hvor hver skole kritiserer de andre skolers problemdefinitioner, forudsætninger, løsningsforslag o.s.v. med baggrund i deres egen »biased« angrebsvinkel.

Det er derfor vigtigt, at de forskellige »skolers« forskere dels sætter sig ind i deres egen metodes forudsætninger, teknik og filosofi, og hvis der skal foregå en frugtbar diskussion på tværs af paradigmerne, også at forstå de øvriges metoders filosofi.

Inden jeg nærmere skal karakterisere den systemdynamiske metodes filosofi, vil jeg fremhæve et karakteristikum, som de anførte »skoler« har til fælles, og som adskiller dem fra anden modellering.

Metoderne arbejder alle med *matematik og datamaskine*. Forudsætningen for dette er, at menneskelig aktivitet og handling kan blive kategoriseret, kvantificeret og repræsenteret gennem matematiske ligninger. Dette betyder dog ikke, at den menneskelige handling i detaljer kan forudsiges gennem et sådant ligningssystem.

For mange af metoderne er forudsigelighed hovedmålet, men denne forudsigelighed koncentrerer sig om en tro på, at forudsigelighed kun kan finde sted på et gennemsnitligt og aggregeret niveau.

Således skriver SCHUMACHER (6):

»Principielt er alt det forudsigeligt, som er immunt over for den individuelle friheds indflydelse som f.eks. stjernes bevægelse, og alt det er uforudsigeligt, som er underkastet denne indflydelse. Vil det sige, at al menneskelig handling er uforudsigeligt? Nej, for de fleste mennesker gør det meste af tiden ingen brug af deres frihed, men handler helt mekanisk. Erfaringen viser, at når der er tale om et stort antal menne-

sker, er mange sider af deres adfærd faktisk forudsigelige, for ud af et stort antal vil på et givet tidspunkt kun et ganske lille mindretal gøre brug af deres frihed, og ofte påvirker de ikke det samlede resultat signifikant».

Metoderne har endvidere det tilfælles, at modelbyggerne mener, at disse modeller er en bedre repræsentation af virkeligheden end andre modeller til brug for sociale beslutninger.

I sammenligning med de mentale modeller, d.v.s. de emplicitte forudsætninger og generaliseringer om virkeligheden som den menneskelige hjerne indeholder, og som beslutningstagerne gør brug af i mangel af bedre, har den matematiske computermodel følgende fordele:

- 1) Den er præcis og rigoristisk.
- 2) Den er eksplicit og kan analyseres for inkonsistens eller fejl.
- 3) Den kan, på en logisk fejlfri måde, konsekvensberegne de anførte forudsætninger.
- 4) Den kan hurtigt og sædvanligvis billigt ændres til at gennemregne alternative forudsætninger eller politikker.

4. Den systemdynamiske metodes karakteristika

Den systemdynamiske metode har som emneområde »udviklingsprocessen«.

Denne udviklingsproces behøver ikke at være den fremtidige udvikling, omend mange systemdynamiske studier fokuserer herpå. Det der skal forstås ved »udviklingsprocessen« i systemdynamiske analyser, er et studie af det studerede systems *dynamiske tendens*, d.v.s. hvilket adfærdsmæssigt mønster dette system genererer over tiden. Tiden er altså en væsentlig variabel, men den er *ikke* nogen *forklarende* variabel. Det er *systemets adfærd over tiden*, der har interesse, og interessen ligger i at *finde de kausale relationer*, der bestemmer denne tidslige udvikling. Dette betyder samtidig, at punkttestimering af specifikke variable i specifikke år er uden interesse. Af speciel interesse er det derimod at konstatere, om systemet som helhed er stabilt, ustabilt, voksende, aftagende, oscillerende eller i ligevægt.

Hovedtesen i det systemdynamiske paradigme er, at den konstaterbare dynamiske tendens i ethvert komplekst system opstår fra dets *interne kausale struktur*. Systemdynamikken arbejder med andre ord i stor ud-

strækning med *lukkede systemer*. Forklaringen til den dynamiske tendens, skal kunne findes indenfor systemet selv fremfor forklaringer, der tager sit udgangspunkt i eksterne forstyrrelser eller tilfældige hændelser. En systemdynamiker vil f.eks. forklare energikrisen ved begreber som råstofudtømmelse, systematisk underprisfastsættelse, stigende materielle behov frem for olie embargo. Tilsvarende med en analyse af prisfluktuationerne på u-landenes råvarer. Her skal forklaringen *ikke søges* i dårligt vejr eller fremkomsten af frostskafer, men i systemets interne struktur:

»It is important to realize that the tendency to oscillate is an inherent property of the system, arising from the difficulties which face the producers when they attempt to adjust their production capacity independent of each other. As we have seen in the historical discussion, the oscillations are excited by wars or severe frost damages, but the general features of the oscillations are determined by the structure of the system itself« (7).

Målsætningen i et systemdynamisk studie er ofte flersidig:

- 1) At forstå de bagvedliggende årsager til en given udvikling, d.v.s. en beskrivende interesse.
- 2) At opnå indsigt i hvorledes forskellige påvirkninger af systemet virker. Vil systemet f.eks. ved en eksogen påvirkning have tendens til cyklisk eller målsøgende adfærd.
- 3) Når de bagvedliggende mekanismer er identificeret, at kunne anvende den opstillede model som normativ model, gennem anvisning af strategier til målopfyldelse.
- 4) *Ikke* at forudsige systemets *kvantitative*, men *kvalitative adfærd*.

Produktet af et systemdynamisk studie er en simulationsmodel, der gennem modelkonstruktionsprocessen, der er en iterativ proces, stadig forbedres.

Tidshorizonten er langsigtet. Hvad der er langsigtet afhænger af det studerede fænomen. Således vil 1 år være langsigtet for lagerstyringsproblematik, medens 10 år ikke er langsigtet hvis problematikken er holdningsændring. I en af undertegnede fortagen analyse af skovsektorens udvikling er tidshorizonten 100 år (8). Generelt bør en systemdynamisk analyse omfatte en tidshorizont lang nok til at beskrive en fuld »livscykel«.

Strukturen i en systemdynamisk model er som omtalt et lukket system, der dog godt kan have eksogene variable, ved hjælp af hvilke man kan påtrykke systemet forskellige antagelser om disses udvikling. Men systemets adfærd må ikke kunne forklares ved sådanne eksogene påtryk. Forklaringen skal fremgå af den interne kausale struktur, der ofte vil bestå af *sammenhængende feed back loops*.

Et *feed back loop* kan være enten målsøgende eller kumulativt.

Nedenfor er i fig. 1 vist et kumulativt loop.

Dette loop illustrerer en simpel investeringsteori, der siger, at investeringerne er bestemt af det eksisterende kapitalapparat, til enhver tid. Pilenes fortegn er udtryk for sammenhængens retning. Således læses loopet: Jo større investeringerne er jo større bliver kapitalapparatet, og jo større kapitalapparatet er jo større bliver investeringerne. Investeringernes højde er endvidere bestemt af p-faktorens højde. Jo større denne er jo større bliver investeringerne. Som det ses bliver loopet kumulativt eller positivt.

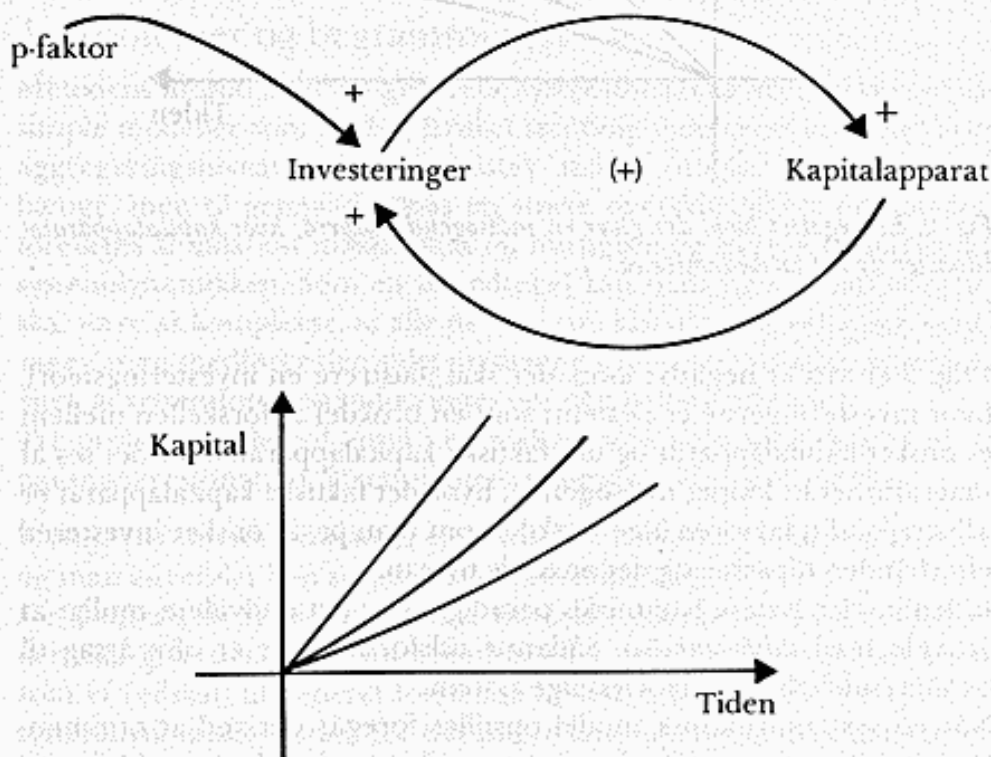


Fig. 1: Et positivt loop, der giver et akkumulerende kapitalapparat.

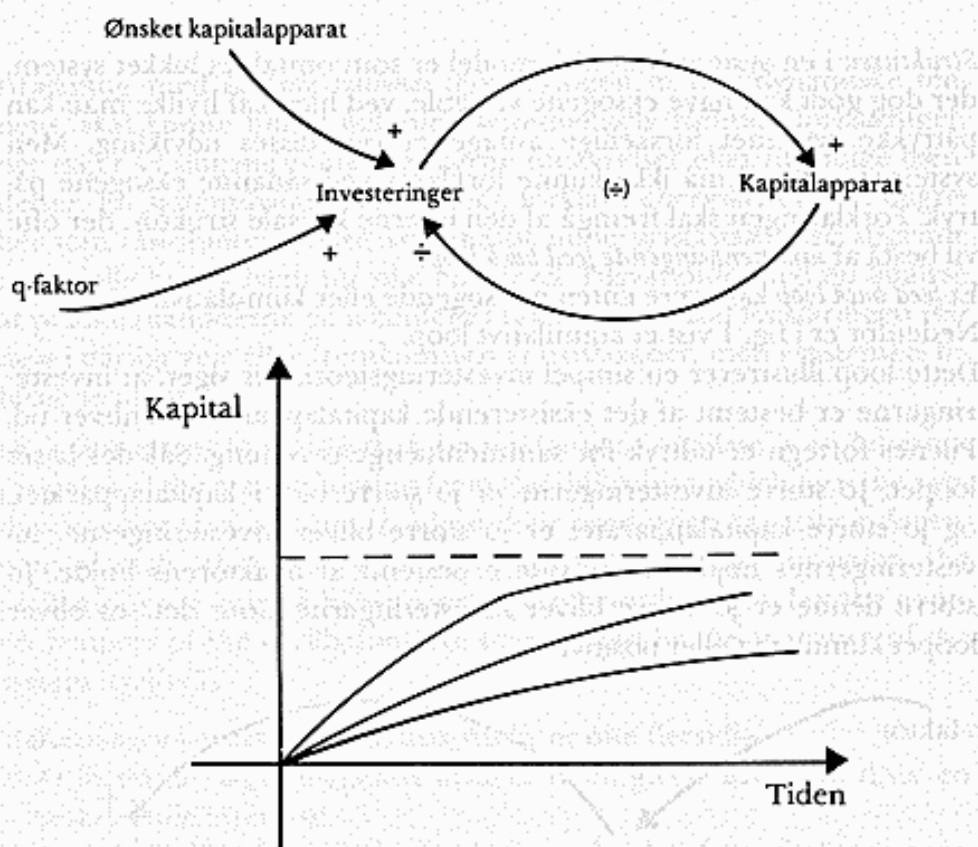


Fig. 2: Et negativt loop, der giver en målsøgende adfærd, hvor kapitalapparatet tilpasser sig det ønskede niveau.

I fig. 2 er vist et negativt loop, der skal illustrere en investeringsteori, hvor investeringerne er bestemt som en brøkdelen af forskellen mellem et ønsket kapitalapparat og det faktiske kapitalapparat. Som det ses af diagrammet er loopet målsøgende, hvor det faktiske kapitalapparat er afhængig af q-faktoren (den brøkdelen som man pr. år ønsker investeret) efterhånden tilpasser sig det ønskede niveau.

Indenfor det systemdynamiske paradigme er det endvidere muligt at arbejde med *tidsforsinkelser*. Sådanne tidsforsinkelser er ofte årsag til oscillerende adfærd i det virkelige system.

Når en systemdynamisk model opstilles foregår det ved at sammenkæde positive og negative loops samt indbygge de relevante tidsforsinkelser.

Endelig antages *ikke-linearitet* variablene imellem, at have en afgørende forklaringsværdi på systemadfærden.

En ikke-lineær sammenhæng i feed-back loopet forårsager dette til at variere i styrke, afhængig af systemets stade. Forbundne ikke-lineære loops former på denne måde mønstre af skiftende loop dominans, under nogle betingelser er en del af systemet meget aktivt, og under andre betingelser får andre loops dominerende betydning og ændrer dermed systemadfærden. En model sammensat af mange feed back loops forbundet ikke lineært, kan producere et meget kompleks adfærdsmønster.

Ikke lineære, forsinkede feed back relationer er vanskelige at behandle matematisk. Forrester har imidlertid udviklet et særligt programmeringsprog kaldet DYNAMO, som netop med stor lethed giver mulighed for at arbejde med ikke-linearitet og tidsforsinkelser.

5. Problemer og begrænsninger

Metodens filosofi med det generelle systemforståelsesformål kræver så simple modeller som muligt, hvilket samtidig indebærer et meget højt aggregeringsniveau. Herved mistes måske nogle kausalsammenhænge, men til gengæld opnås en større overskuelighed, og når der foretages simulation måske også en hurtigere og sikrere forståelse af systemdynamikken. Som en hovedregel kan man sige, at modellerne skal være så komplekse, at alle de vigtigste kausalsammenhænge medtages, men medfører den sidst medtagne kausalitet en sådan kompleksitet, at systemforståelsen forringes bør den hellere udelades.

Tre problemer, der vil opstå i en hvilken som helst modelteknik er 1) parameterestimation, 2) sensitivitetstestning og 3) model validitet.

1) Nøje parameterestimation er af mindre betydning i systemdynamik og man anvender kun sjældent statistisk estimation.

For det første, er systemdynamiske modeller ikke tænkt som modeller, der skal give detailleret information eller præcise forudsigelser men som et redskab til generel forståelse af systemadfærd. *For det andet* er systemdynamiske studier for det meste langsigtede, hvilket indebærer at parametrene overskrider den historiske horisont, hvorved en esti-

mation på baggrund af historiske data alene vil være utilstrækkelig. *For det tredje* gør den ikke-lineære feed back struktur i modellerne dem mindre følsomme til præcise parameterverdier.

Systemdynamiske modellers generelle insensitivitet er dels et resultat af feed back strukturen, men også et resultat af den måde, sensitivitet er defineret på i det systemdynamiske paradigme.

En model defineres således som sensitiv overfor en given parameter, hvis en ændring i denne parameters numeriske værdi ændrer hele modellens kvalitative adfærd (f.eks. fra vækst til stagnation eller fra udjævne til eksploderende oscillationer). Sensitivitet defineret på denne måde er yderst sjælden både i systemdynamiske modeller og i den sociale virkelighed, men den forekommer dog lejlighedsvis. Hvis det lykkes at finde en parameter, der på denne måde er sensitiv, er det et vigtigt modelresultat, fordi man da ved en nøje parameterestimation af den pågældende parameter vil have et godt grundlag for *kvalitativ prediction*.

2) Sensitivitetstestning er et område lidet udviklet i systemdynamik. Der findes ikke nogen entydig procedure til at udføre dette efter. Jeg skal ikke her gå ind på en teoretisk diskussion, men henvise til TANK-NIELSEN og SHARP (9) samt til den konkrete sensitivitetsanalyse i omtalte skovsektoranalyse (10).

3) Vedrørende modelvaliditet findes der indenfor det systemdynamiske paradigme ikke nogen bestemt kvantitativ procedure, efter hvilken validiteten kan bestemmes. Faktisk anvender systemdynamikere ikke så meget begrebet validitet men snarere *utilitet* d.v.s. den nytte eller det udbytte modellen kan give i relation til problemområdet.

MEADOWS (11) stiller 3 kriterier op for utilitet:

- 1) Every element and relationship in the model has identifiable real-world meaning and is consistent with whatever measurements or observations are available.
- 2) When the model is used to simulate historical periods, every variable exhibits the qualitative, and roughly quantitative, behavior that was observed in the real system.

3) When the model is simulated under extreme conditions, the model system's operation is reasonable (physical quantities do not become negative or exceed feasible bounds, impossible behavior models do not appear).

En simultan opfyldelse af disse kriterier er vanskelig i det praktiske modelarbejde, og kriterierne kan derfor opfattes som idealkriterier, efter hvilke modellens utilitet kan måles.

6. Modelkonstruktionsprocessen

I dette afsnit skal jeg give en oversigtsmæssig beskrivelse af den arbejdsproces, der foregår ved konstruktionen af en systemdynamisk model. Arbejdsaktiviteterne kan inddeles i følgende hovedgrupper:

- a) begrebsdannelse
- b) modellformulering
- c) kørsler eller eksperimenter
- d) evaluering

a) *begrebsdannelse:*

Begrebsdannelse kan betegnes som den aktivitet, der består i at udvælge og konstruere de variable og relationer, som skal udgøre modellens struktur. Denne aktivitet er vigtig idet den er bestemmende for modellens »udseende«, og dermed hensigten med modellen. Som bekendt er en model kun et billede af en del af virkeligheden, hvilket indebærer at begrebsdannelsesprocessen bliver en aktivitet hvor visse egenskaber ved systemet medtages, medens andre, der anses for mindre væsentlige i den givne sammenhæng, udelades. Problemet bliver da at afgøre hvilke variable og relationer, der er væsentlige og hvilke, der kun har minimal forklaringsværdi. Dette kan a' priori være

vanskeligt at afgøre, hvorfor begrebsdannelsesprocessen ikke må opfattes som en proces, der gennemløbes en gang, hvorefter man vender sig mod næste trin i modelkonstruktionsprocessen. Begrebsdannelsesprocessen er som hele modelkonstruktionsprocessen en *iterativ proces*, hvor man starter med de variable og sammenhænge, som man med baggrund i eksisterende teorier, hypoteser, erfaringer eller tro a priori anser for væsentlige.

På denne baggrund opstilles en foreløbig model, der derpå testes. Ofte viser det sig, at denne model langt fra lever op til forventningerne, hvorefter ændringer må foretages, hvilket ofte indebærer, at man starter forfra med begrebsdannelsen. På denne måde kan modelkonstruktionsprocessen gennemløbes mange gange, hvilket efterhånden skulle tilsikre en stadig bedre model af de studerede fænomener.

Resultatet af begrebsdannelsesfasen er den såkaldte *dynamiske hypotese*. Ved dette forstås en eller flere forventede udviklingsmønstre (»reference mode«) for modellens variable. En »reference mode« kan f.eks. være en kurve over en bestemt variabels tidsmæssige udvikling. Denne kurve er f.eks. hentet fra statistikken, og har dermed en historisk empirisk baggrund (12).

Med baggrund i »reference mode« opstilles derpå et såkaldt *kausalitetsdiagram*, hvor de variable og relationer, som man mener kan forklare »reference mode«, vises. Et kausalitetsdiagram er med andre ord et samlet billede af de »loops«, der skal forklare systemets dynamiske adfærd.

»Reference mode« behøver ikke at have konkret empirisk baggrund, idet den blot kan udtrykke det forventede forløb for modellens variable. Kort og godt kan »reference mode« oversættes til *studiets problemformulering*, som når det drejer sig om et systemdynamisk studie er en *dynamisk hypotese*.

Den dynamiske hypotese er udgangspunktet for formulering af modellen. I fig. 4 er vist den dynamiske hypotese for den tidligere omtalte skovsektoranalyse (13).

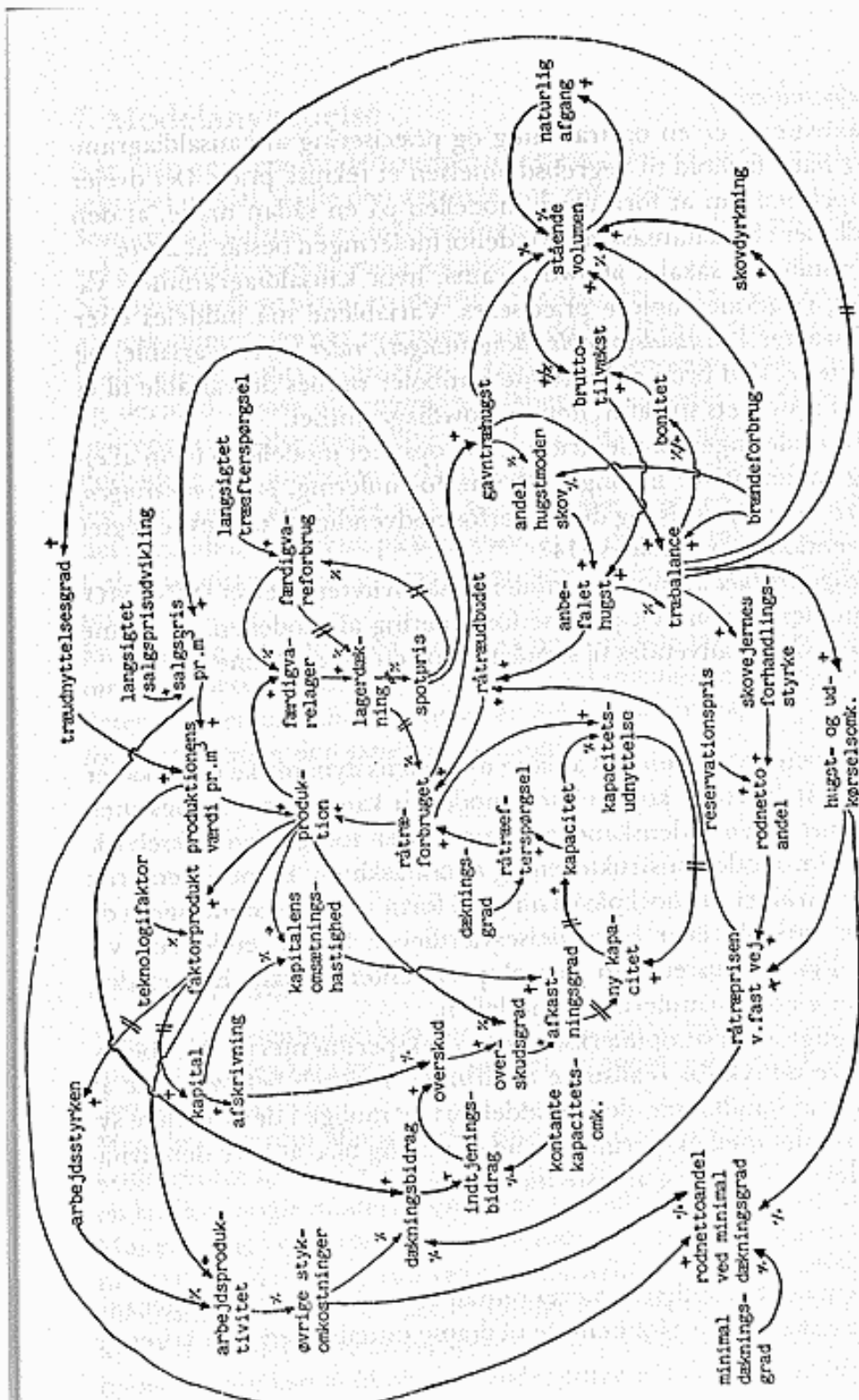


Fig. 4: Kausaldiagram for den dynamiske hypotese.

b) modelformulering:

Disse aktiviteter er en opstramning og præcisering af kausaldiagrammet, og har i forhold til begrebsdannelsen et teknisk præg. Det drejer sig simpelthen om at formulere modellen på en sådan måde, at den kan indlæses i en datamaskine. Modelformuleringen består af 2 trin.

Først opstilles et såkaldt »flowdiagram«, hvor kausaldiagrammets variable og relationer nøjere præciseres. Variablene må inddeles efter deres karakter i *tilstandsvariable (beholdninger)*, *rater (strømvariable)* og *hjælpevariable*. Ved brug af bestemte symboler samles de variable til et billede af systemets struktur, nemlig flowdiagrammet.

Modelformuleringens andet trin er at få opstillet modellen i form af en samling matematiske ligninger. Denne formulering, *programmeringen*, skal være meget præcis, og det er derfor nødvendigt at en række regler og konventioner overholdes. (14).

Det endelige produkt af modelformuleringsaktiviteterne er et DYNAMO-program, der er den helt præcise formulering af modellen, og denne model kan derpå anvendes til simulation på en datamaskine.

c) kørsler:

Denne aktivitet har til formål at lære modellens dynamiske egenskaber at kende. At foretage kørsler med modellen kan sammenlignes med *eksperimentet* i den videnskabelige proces. Der foregår en vekselvirkning mellem modelkonstruktøren og datamaskinen. Eksperimenterne kan have karakter af chockpåvirkninger i form af bratte ændringer i de eksogene variable eller begyndelsesværdierne for de endogene variable. Også strukturen kan der eksperimenteres med, hvilket dog indebærer en omformulering af modellen.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at eksperimenterne ikke behøver at være udtryk for realistiske ændringer. Indgreb behøver ikke at modsvares af handlinger, der umiddelbart er mulige i det virkelige system. Formålet med eksperimenterne er nemlig bl.a. at lære den dynamiske effekt at kende, og at teste modellens utilitet.

d) evaluering:

Denne aktivitet har tidligere været omtalt som modelvaliditet eller utilitet, og jeg skal derfor blot henvise til denne omtale med de 3 kriterier for utilitet.

7. Modelanvendelse

Når man gennem modelkonstruktionsprocessen er nået frem til en akseptabel model, skulle den gerne kunne anvendes.

Som omtalt i afsnit 4 er målsætningen for et systemdynamisk studie såvel af *deskriptiv* som *normativ karakter*.

Når systemets struktur er identificeret skal det være muligt ved hjælp af beslutningstagernes præmisser om de eksogene variables- og eventuelle andre policyparametres udvikling, at konsekvensberegne dette og dermed anvise alternative udviklingsmuligheder, hvilket er i god overensstemmelse med kravet til OLP-analyse, jvf. afsnit 2.

Endvidere bør modellen også kunne anvendes *normativt*, d.v.s. modellen bør kunne anvendes til at anvise nogle langsigtede strategier for det pågældende system, på baggrund af en opstillet målsætning.

I skovsektoranalysen er modellen netop blevet anvendt på denne måde (15).

Endelig kan arbejdet med modellen også munde ud i forskellig indsigt om systemets udvikling, d.v.s. hvilke mekanismer er det specielt, der determinerer udviklingen, hvad er det karakteristiske for udviklingsforløbet, hvad er den sandsynlige langtidstrend etc.

8. Konklusion

Ved at sammenholde kravene til OLP-analyse med den systemdynamiske metodes karakteristika, ses det, at denne metode er velegnet til denne analyseform.

Metoden har som alle metoder sine fortrin og svagheder og er blevet kritiseret fra forskellig side (17), men denne kritik er dog mere gået på en kritik af nogle modelanvendelser, specielt »The Limits to Growth«.

Min erfaring ved anvendelse af metoden er, at den er særdeles velegnet til OLP-analyse, og kan være til stor nytte i en driftsøkonomisk sammenhæng, specielt hvis det er muligt at inddrage beslutningstagerne aktivt i modelkonstruktionsprocessen i form af referencegrupper, hvorved man kan få tilført den nødvendige information, som praktiske beslutningstagere besidder.

Noter og referencer:

1. Forrester, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*, Cambridge Mass, The M.I.T. Press.
2. Forrester, J. W. (1969): *Urban Dynamics*, Cambridge Mass, The M.I.T. Press.
3. Forrester, J. W. (1971): *World Dynamics*, Cambridge Mass, The M.I.T. Press.
4. Meadows, D. L. et al. (1974): *Dynamics of Growth in a Finite World*, Cambridge Mass (Wright Allen Press).
5. Meadows, D. H. et al. (1973): *Grænser for vækst*, København, (Gyldendal).
6. Schumacher E. F.: *Vækst eller velfærd, økonomisk udvikling med mennesket i centrum. »Small is Beautiful«*, Gyldendal 1975, p. 235.
7. Mosekilde E, Ranfelt, L. W.: *Buffer stock Stabilization of the International Commodity Market. An analysis of UNCTAD's Proposal of an Integrated Programme for Raw Materials with special Reference to Coffee*, Gruppen for ressursstudier, Oslo 1977, p. 15.
8. Ranfelt, L. W.: *Den danske skovsektors udvikling. En langsigtet dynamisk simulationsmodel for den danske skovsektor (licentiatafhandling)*, Skovbrugsinstituttet, KVL, dupl. 448 s.
9. Tank-Nielsen C.: *Sensitivity analysis in Systems Dynamics.*
Sharp J. A.: *Sensitivity analysis methods for system dynamics models.*
Begge er publiceret i: *The System Dynamics Method, The Proceedings of The 1976 International Conference on System Dynamics*, Geilo, Norway, August 8.-15., 1976, J. Randers og Leif K. Ervik (ed).
10. Reference 8 p. 220.
11. Donella M. Meadows: *The Unavoidable A Priori in the System Dynamic Method, The System Dynamics Method*, op. cit. p. 188.
12. Som eksempel på reference mode henvises til udviklingen i den internationale kaffepris 1950-75, udtrykt ved en kurve i reference 7 p. 13.
13. Reference 8 p. 48.
14. De syntaktiske og grammatiske regler samt måden hvorpå beregningen foregår fremgår af A. L. Pugh: *Dynamo II, Users Manual*, The M.I.T. Press, 1973.
15. I reference 8 fra p.p. 219-420 er vist hvorledes modellen kan anvendes som deskriptiv og normativ model.
16. op. cit. p.p. 421-448 fremhæves nogle »indsigter i skovsektorens dynamik« d.v.s. nogle generaliseringer, som synes at hæve sig over det enkelte modeleksperiment. Disse er:
 - a) En tendens til cyklisk adfærd i væsentlige variable.
 - b) Afkastningsgradens niveau er relativt konstant.
 - c) Naturgrundlagets bevarelse.*Den egentlige indsigt i skovsektorens udvikling i.e. påvisning af de bagvedliggende årsager til systemets udvikling, fås af de viste flowdiagrammer, der identificerer de variable og mekanismer, der bestemmer skovsektorens udvikling. Flowdiagrammerne klarlægger herved de »love«, der styrer systemets udvikling, og præciserer endvidere hvilke af disse »lov-mæssigheder« beslutningstagerne har mulighed at påvirke.*
17. En væsentlig del af kritikken er sammenfattet i: *Analyse af M.I.T.-projektet: The Limits to Growth*, opgave ved DTH under vejl. af L. Dybkjær, N. I. Meyer, J. Nørgaard, dupl. 104 s.