

# Adaptiv multimålkontroll – ett sätt att angripa multimålproblemet?

---

Av Christer Carlsson

## 1. Introduktion

Problemet att i en mängd  $A$  av aktiviteter skapa en sådan kombination  $A_1$  ( $A_1 \subseteq A$ ) att en mängd  $G$  av målsättningar simultant satisfieras före en tidpunkt  $t_1$  är ett *multimålproblem*.

Traditionellt angrips denna typ av problem så att målmängden konverteras till någon användbar kriteriefunktion: vi har t.ex:

1.1  $g = f(g_1, \dots, g_n)$  där  $g_i \in G$ .

Därefter kan ett målsatisfierande handlingsprogram avgränsas med följande funktionssystem:

1.2  $h_k = h_k(a_j, g)$  där  $a_j \in A$ , och  $k \in K$ , en ändlig mängd.

Ofta försöker man skapa ett optimalt handlingsprogram,

1.3  $\hat{h}_k = \max h_k(a_j, g)$ ,  $k \in K$ ,

varvid ytterligare en rad förutsättningar om funktionernas form, om konvergens, etc. bör vara uppfyllda.

Denna metodik har en allvarlig begränsning: då multimålstrukturen går förlorad kan man varken utnyttja en eventuell samverkan mellan målsättningarna eller ens observera – och korrigera för – effekterna av att sammanföra helt eller delvis motstridiga målsättningar.

Här skall vi rätt översiktligt granska hur multimålproblemet kunde angripas då multimålstrukturen bibehålls; för detta ändamål skapas ett diskussionsunderlag, som är en skiss av principerna för *hierarkiska flernivåsystem*, i avsnitt 2; i avsnitt 3 avgränsas begreppet *adaptiv multimålkon-*

# Adaptiv multimålkontroll – ett sätt att angripa multimålproblemet?

---

Av Christer Carlsson

## 1. Introduktion

Problemet att i en mängd  $A$  av aktiviteter skapa en sådan kombination  $A_1$  ( $A_1 \subseteq A$ ) att en mängd  $G$  av målsättningar simultant satisfieras före en tidpunkt  $t_1$  är ett *multimålproblem*.

Traditionellt angrips denna typ av problem så att målmängden konverteras till någon användbar kriteriefunktion: vi har t.ex:

1.1  $g = f(g_1, \dots, g_n)$  där  $g_i \in G$ .

Därefter kan ett målsatisfierande handlingsprogram avgränsas med följande funktionssystem:

1.2  $h_k = h_k(a_j, g)$  där  $a_j \in A$ , och  $k \in K$ , en ändlig mängd.

Ofta försöker man skapa ett optimalt handlingsprogram,

1.3  $\hat{h}_k = \max h_k(a_j, g)$ ,  $k \in K$ ,

varvid ytterligare en rad förutsättningar om funktionernas form, om konvergens, etc. bör vara uppfyllda.

Denna metodik har en allvarlig begränsning: då multimålstrukturen går förlorad kan man varken utnyttja en eventuell samverkan mellan målsättningarna eller ens observera – och korrigera för – effekterna av att sammanföra helt eller delvis motstridiga målsättningar.

Här skall vi rätt översiktligt granska hur multimålproblemet kunde angripas då multimålstrukturen bibehålls; för detta ändamål skapas ett diskussionsunderlag, som är en skiss av principerna för *hierarkiska flernivåsystem*, i avsnitt 2; i avsnitt 3 avgränsas begreppet *adaptiv multimålkon-*

*troll* och principerna för en implementering av denna i ett hierarkiskt flernivåsystem diskuteras i avsnitt 4. Därefter avrundas diskussionen, i avsnitt 5, med en konklusion över i vilken mån adaptiv multimålkontroll är ett effektivt sätt att angripa multimålproblemet.

## 2. Flernivåsystem

Begreppet *system* innefattar väsentligen det att en mängd av objekt är sammanförda till en helhet – som uppstått genom interaktion eller ur beroendeförhållanden mellan objekten. Dock är det så att de explicita formuleringar av systembegreppet som återges i relevant litteratur visar rätt varierande begrepps bilder, vilket i och för sig knappast är någon nackdel – eller ens förvånande – eftersom det på området också tycks råda en viss samstämmighet om att systembegreppet, inom den allmänna begrepps bilden, bör kunna anpassas till ett aktuellt implementeringssammanhang (jfr t.ex. [7]).

Här skall vi använda oss av följande formulering av systembegreppet (jfr [5]):

- 2.1 Ett *system* är en *entitet* bildad av en mängd  $A$  av *aktivitetsenheter*, så ordnad med en hierarkisk ordningsregel  $H$ , att mängden har åtminstone två nivåer med minst två aktivitetsenheter på den lägre nivån och minst en aktivitetsenhet på den högre nivån. Aktivitetseheterna förenas horisontellt av en mängd av *intrarelationer*  $IAR$ , och vertikalt av en mängd av *interrelationer*  $IER$ , så att relationerna håller mellan varje element i  $A$  och åtminstone ett annat element i  $A$ , både horisontellt och vertikalt.

Genom att ordningsregeln  $H$  införts i  $A$  får mängden en hierarkisk struktur. Är det då berättigat att implicit anta att ett system skall ha hierarkisk struktur? Mesarovic (jfr [10]) pekar på ett flertal faktorer som talar för detta – här skall kort återges några för sammanhanget relevanta argument:

- *integration*: en helhet återgiven i ett fåtal (aggregerade) objekt är mera överskådlig än en mängd av (oaggregerade) objekt.
- *stratifiering*: delmängder av objekt bör kunna studeras isolerade från en komplex helhet.

- *flexibilitet*: det är lättare att observera och korrigera fel i fristående delmängder av objekt.
- *reliabilitet*: fel och funktionsstörningar i delmängder av objekt påverkar inte så lätt övriga delar av ett system.

En närmare granskning av systemdefinitionen (2.1) visar att denna inte är uttömmande innan systemets grundelement, *aktivitetsenheterna*, definierats:

2.2 En *aktivitetsenhet*  $a_i^{(h)}$ , som kan årges med en variabel eller med en mängd av funktionellt eller logiskt samordnade variabler, representerar ett aktivitetstillstånd  $\alpha_i^{(h)}$  som är bundet till en tidpunkt eller ett tidsintervall.

Såsom 2.2 implicerar bör vi här ha sambanden,

2.3  $A^{(h)} \subseteq A$ ,  $h \in H$ , är mängden av möjliga aktivitetstillstånd:  $h$  anger hierarkisk nivå.

2.4  $\alpha_i^{(h)} \in A$ ,  $i \in N(h)$

2.5  $A \subseteq A$ , varvid mängden element bestäms av om systemet är definierat för en tidpunkt eller ett tidsintervall.

2.6  $A^{(h)} \subseteq A$ , anger delsystem av  $A$  på den hierarkiska nivån  $h$ .

2.7  $a_i^{(h)} \in A^{(h)}$

Det kan noteras att 2.1–2.7 är ett utkast till ett generellt systembegrepp, som är användbart för att återge både statiska och dynamiska helheter, och att aktivitetsenheterna kan anges i de dimensioner som är mest användbara vid varje aktuell tillämpning av begreppet.

*Intrarelationerna*, angivna som  $C_m^{(h)} \subseteq IAR$  (där  $m \in Q(h)$  och  $IAR \subseteq A$ ), är *samordningsfunktioner*, som kan återges som ett funktionsuttryck eller en logisk relation. *Interrelationerna*, som kan återges på analogt sätt och anges som  $B_j^{(h)} \subseteq IER$  (där  $j \in Q(h)$  och  $IER \subseteq A$ ), är *aggregeringsfunktioner*.

Med hjälp av de så definierade systemelementen är det möjligt att klassificera delmängder av  $A$  i aggregeringsnivåer: vi skall här införa begreppen oaggregerade system (*oa-system*), delvis aggregerade system (*da-*

*system*) och helt aggregerade system (*ha-system*). De tre systemtyperna är karakteriserbara enligt följande:

- 2.8 ett delsystem av åtminstone två aktivitetsenheter förenade med enbart intrarelationer är ett *oa-system* (vilket eg. inte är något system, jfr 2.1).
- 2.9 ett delsystem av åtminstone tre aktivitetsenheter förenade med minst en inter- och en intrarelation är ett *da-system*. Täcker den »längsta» interrelationen *två* nivåer i den hierarkiska mängden *A* sägs *da*-systemet vara av *första graden*, är *tre* nivåer täckta är *da*-systemet av *andra graden*, etc.
- 2.10 ett delsystem med åtminstone en delmängd av de bundna aktivitetsenheterna hänfödda till den högsta aggregeringsnivån i mängden *A* är ett *ha-system*.

Här kan då noteras att delsystem~delmängd i *A*, och att de bildade systemklasserna inte är disjunkta, varför klassificeringen inte kan förväntas vara användbar för andra ändamål än att tjäna som diskussionshjälpmedel.

Eftersom *A* getts en hierarkisk struktur kan vi införa regeln att:

- 2.11 varje delsystem i *A* i vilket åtminstone ett *da*-system av andra graden ingår är ett *flernivåsystem*.

Ett särdrag för flernivåsystem är, att förekomsten av flera aggregeringsnivåer för med sig att systemet också har flera *abstraktionsnivåer*. Vid implementering av systembegreppet får detta konsekvenser, bl. a. för målsättningarnas operativitet inom olika delar av systemet (t.ex. så att en målformulering är för allmän för att vara operativ för ett delsystem). Det är därför önskvärt att flernivåstrukturen får influera operationaliseringen av en målsättning; detta är genomförbart om *målsättningen* återges t.ex. enligt följande:

- 2.12 En *målsättning*  $G^{(h)}$  ( $\subseteq G$ , mängden av målsättningar:  $o \subset S(h)$ ) är en delmängd i de tillståndsmängder som gäller för mängden av aktivitetsenheter vid någon tidpunkt eller för något tidsintervall.

Enligt 2.12 anger en målsättning ett eller flera önskade tillstånd för en aktivitetsenhet, någon mängd av aktivitetsenheter från samma hierarkiska nivå eller någon mängd från olika hierarkiska nivåer. Med en sådan kon-

struktion är det möjligt att avbilda en *mängd* av målsättningar, att uttrycka målsättningar och tillhörande aktivitetensenheter i kompatibla enheter och att avbilda *aggregering* av både aktivitetensenheter och målsättningar. Aggregering och samordning av målsättningar genomförs med en mängd av *målrelationer*  $GR$  (där  $GR \subseteq G$ ); som *samordningselement* ( $D_p^{(h)} \subseteq GR$ ;  $p \in T(h)$ ) är dessa analoga med intrarelationerna, som *aggregeringselement* ( $E_q^{(h)} \subseteq GR$ ;  $q \in U(h)$ ) analoga med interrelationerna. Följaktligen är de till formen funktionsuttryck eller logiska relationer.

Med användning av de systemelement vi hittills avgränsat kan den principiella strukturen för ett flernivåsystem återges med t.ex. följande principskiss (jfr fig 2.1):

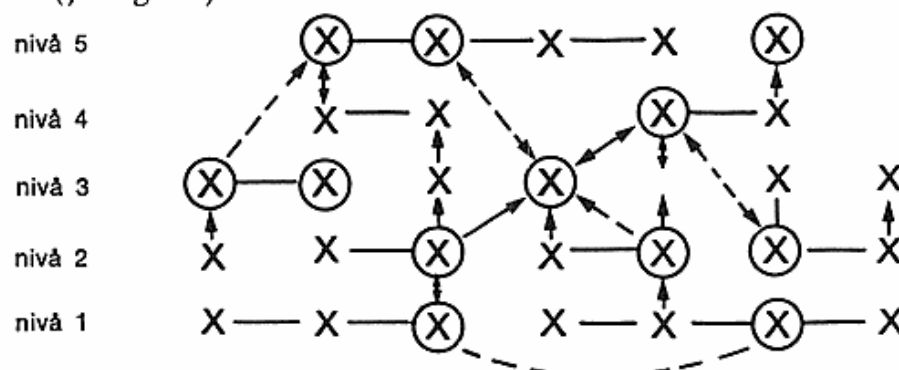


Fig 2.1 Principskiss över ett multimål-, flernivåsystem.

I fig 2.1 anger  $x$  aktivitetensenheter,  $\otimes$  aktivitetensenheter bundna av målsättningar,  $\rightarrow$  anger interrelationer (som antas vara både enkel- och dubbelriktade),  $—$  anger intrarelationer (med analog struktur),  $---$  anger samordnande målrelationer (också med analog struktur) och  $- - - \rightarrow$  slutligen, aggregerande målrelationer (med analog struktur).

### 3. Adaptiv multimålkontroll

Begreppet *kontroll* är, analogt med systembegreppet, ett av de begrepp inom företagsekonomin om vilket det inte råder någon speciell samstämmighet: i de begreppsformuleringar man kan finna i relevant företags-

ekonomisk litteratur förekommer för det mesta element av *uppföljning* och *styrning* – med tyngdpunkten förlagd vid det förra (jfr t.ex. [4]). Däremot är huvudvikten lagd vid det senare elementet i begreppsformuleringar som bygger på den s.k. kontrollteorin: vi har t.ex. Mesarovic [9] formulering:

»The problem of controllability refers to the capability of achieving a certain performance by using a given system and a given set of inputs. The definition is the following:

A system is controllable in the set  $Q_e$  if and only if for every  $g_j \in Q_e$  there exists an  $x_j \in X$  such that,

$$\left\{ \begin{array}{l} R \\ x_j \rightarrow y_j \end{array} \right\} \xrightarrow{T} q_j$$

where  $x_j$  is the input of the system and  $y_j$  is the output.»

En allmän princip som t.ex. Beer [3] betonar är att en styrande kontrollfunktion, antingen den är mänsklig eller av teknisk konstruktion, skall utvecklas *inom* och *med* det system i vilken den skall fungera och bör dessutom kontinuerligt kunna anpassa sig till förändrade funktionskrav, vare sig dessa är exogent eller endogent betingade.

En av de mest generella begreppsformuleringarna, och samtidigt en av de mest operativa, är den som Ackoff [1] anför:

- 3.1 »An element or a system *controls* another element or system (or itself) if its behaviour is either necessary or sufficient for subsequent behaviour of the other element or system (or itself), and the subsequent behaviour is necessary or sufficient for the attainment of one or more of its goals.»

Eftersom denna formulering är både tillräckligt generell och tillräckligt detaljerad för våra ändamål, får den i det följande representera vår uppfattning av kontrollbegreppet.

*Adaptivitet* innebär väsentligen en förmåga till *effektiv* anpassning till föränderliga verksamhetsförutsättningar av både funktionell och strukturell art: här skall vi använda oss av Ackoff-Emerys [2] begreppsformulering:

- 3.2 »... an individual or a system is *adaptive* if, when there is a change in its environmental and/or internal state that has reduced its ef-

efficiency in performing its functions, it reacts or responds by changing its own state and/or that of its environment so as to increase its efficiency with respect to its functions.»

Med hjälp av de begreppsavgränsningar som hittills införts är det möjligt att tentativt skissera de element som borde ingå i begreppet adaptiv multimålkontroll:

- ett *incitament* som är ett nödvändigt eller tillräckligt element för att initiera kontrollprocessen (dvs. den process som syftar till en implementering av kontrollbegreppet); ett sådant är t.ex. den aktivitetsändring som är tillräcklig för att ett element i en mängd av målsättningar inte längre skall satisfieras.
- ett *syfte* med kontrollen, i vilket en strävan till effektiv reaktion på incitamentet ingår åtminstone implicit.
- ett *funktionskrav*, som innebär att kontrollen skall skapa nödvändiga och/eller tillräckliga förutsättningar för simultan satisfiering av en mängd av målsättningar.

Om dessa begreppselement sammanställs formas följande bild av en *adaptiv multimålkontroll*:

- 3.3 Ett element, eller ett system utövar *adaptiv multimålkontroll* över ett annat element, eller system (eller sig självt) vilket tillordnats en mängd av målsättningar, om det i det fall då något element i mängden av målsättningar inte är satisfierat, kan skapa nödvändiga eller tillräckliga förutsättningar för att samtliga målsättningar skall satisfieras simultant.

#### 4. Om principerna för en implementering av adaptiv multimålkontroll i ett hierarkiskt flernivåsystem

I en diskussion av principerna för en implementering av adaptiv multimålkontroll bör man väsentligen sträva till att utreda principerna för hur den, eller de, kontrollfunktioner som är avsedda att realisera multimålkontrollen skall konstrueras och fungera. För här aktuella ändamål skall ett analogt angreppssätt användas – dock med den begränsningen att



humanbaserade («man-machine») kontrollfunktioner inte skall behandlas. Begränsningen betingas av att vi här försöker finna principer för en implementering som är operationaliserbara i åtminstone någon kategori av kvantitativa modeller.

Ytterligare har vi (som tankemodell) valt att diskutera principerna för en implementering under antagandet att denna sker i ett hierarkiskt flernivåsystem av det slag som konstruerades i avsnitt 2. Detta ger nämligen underlag för en kommentar om de centrala aggregerings- och synergieffekterna.

Vid implementering i ett flernivåsystem föreligger det en viss skillnad mellan om en adaptiv multimålkontroll är avsedd att realiseras *inom* eller *över* systemet. Det förra fallet har en viss strukturell likhet med de konstruktioner som inom kontrollteorin och teorin för servomekanismer går under benämningen *on line-kontroll*; medan det senare analogt motsvarar en *off line-kontroll* (jfr [6]). De principiella skillnaderna mellan dessa två kontrolltyper kan belysas med följande omständigheter:

- on line-kontrollen är kontinuerlig; off line-kontrollen inciteras.
- en on line-kontroll har vanligen kapacitet endast för funktionsändringar; off line-kontrollen dessutom för strukturändringar.
- on line-kontrollen är adaptiv inom ramen för kontrollfunktionernas operationsområden; off line-kontrollen kan karakteriseras som en »problemlösnings»-funktion.
- en on line-kontroll skall i princip vara operativ, varför de ingående elementen bör vara av så låg aggregeringsgrad som möjligt; off line-kontrollens element kan vara av högre aggregeringsgrad, men vanligen fordras att dess output är operationaliserbar.

En implementering av adaptiv multimålkontroll i ett flernivåsystem innebär i de flesta fall att det skapas en kontrollfunktion som simultant är *både* on line- och off line, eftersom en flernivåstruktur kräver både operativa och samordnande funktioner.

En *satisficeringsmodell* som simulerar den aktuella systemstrukturen förefaller vara den för en implementering mest lämpade modelltypen; detta därför att den medger modulavbildning, den är flexibel, den kan återge en dynamisk struktur lika väl som en statisk struktur, den tillåter stokastiska element, m.m., vilka alla är väsentliga element vid avbildningen av

flernivåsystem. Dessutom är det i de flesta fall rätt omöjligt att bestämma optimala kontrollprogram för flernivåsystem, eftersom elementen ofta är interaktiva (jfr avnitt 2); däremot kan det vara möjligt att bestämma satisficerande kontrollprogram (jfr [8]), vilket talar för att en satisficeringsmodell skall utnyttjas.

I en modell som simulerar ett flernivåsystem kan en adaptiv multimålkontroll implementeras genom att en *lokalt adaptiv kontrollfunktion* förs in i varje delsystem som styrs av en, eller flera, målsättningar. Kan dessa lokala funktioner fås att samverka bör detta, åtminstone i vissa fall (jfr [5]), resultera i att vi får en *global adaptionsprocess*. Kan en implementerad mängd av målsättningar satisfieras lokalt, dvs var för sig, är innebörden i den globala adaptionsprocessen den, att målsättningarna adapteras inbördes (med en analog anpassning av de lokala adaptionsprocesserna) tills målsatisfieringen är global, dvs. *simultan* för samtliga målsättningar.

Har vi en systemsimulerande modell med dynamisk struktur, och med dynamiska och stokastiska element, är det nödvändigt att kunna avgöra när en global adaptionsprocess resulterat i en global målsatisfiering. Ett kriterium som förefaller användbart för detta ändamål är *ultrastabilitet* (introducerades av Ashby, jfr [5]):

»A multilevel, multigoal system is said to be ultrastable, if an implemented control function is able to establish necessary and/or sufficient conditions for the system to shift from any instable state (at  $t_1$ ) to a stable one, by some chosen point of time ( $t_2$ , and this process could be repeated at any  $t > t_2$  (within reasonable changes of environment and system structure).»

Ett *stabilt* systemtillstånd är karaktäriserat av att samtliga målbundna aktivitetsenheter antagit värden i motsvarande målmängder. Om en global adaptionsprocess i ett dynamiskt flernivåsystem resulterat i ett ultrastabilt tillstånd motsvarar detta en *global, simultan* målsatisfiering i systemet.

Vi kan ytterligare observera att den valda implementeringstekniken, som bygger på flernivåsystem och samverkan mellan lokala och globala adaptionsprocesser, är ett utmärkt underlag för en analys av aggregerings- och synergieffekterna:

- *aggregeringen* av aktivitetsenheter sker och styrs via interrelationerna, och kan alltså analyseras med hjälp av dessa.

- målaggregeringen sker analogt via målrelationerna och ger därför möjligheter till en motsvarande analys.
- *synergieffekten* kan återges som resultatet av en samverkan mellan resp. intra-, inter- och målrelationerna, varför olika synergiformer kan analyseras mot varierande relationskonstellationer.

## 5. Konklusion

Vi fann att om adaptiv multimålkontroll implementerats i en statisk problemsituation och det därvid är möjligt att genom samordning av en mängd av lokala adaptionsprocesser förverkliga en global adaptionsprocess, resulterar denna i att samtliga målsättningar satisfieras simultant. Är problemsituationen dynamisk nås motsvarande resultat om den globala adaptionsprocessen förmår skapa ett ultrastabilt systemtillstånd.

Likväl är det fortfarande en öppen fråga om de visade principerna vid en operationalisering kommer att innefatta de funktionselement som är nödvändiga och/eller tillräckliga för att lösa multimålproblemet.

(Devil's Dictionary: *Logic*: the art of thinking and reasoning in strict accordance with the limitations and incapacities of the human misunderstanding.)

### Referenser:

1. Ackoff, Russell L.: *Towards a system of systems concepts*. Management Science, vol. 17, nr. 11. 1971.
2. Ackoff, Russell L. & Fred E. Emery: *On purposeful systems*. Aldine. Chicago, 1972.
3. Beer, Stafford: *Brain of the firm*. Allen Lane. London, 1972.
4. Carlsson, Christer: *Om principerna för en operativ multimålkontroll av företaget*. Lic. avhandl. Åbo, 1973.
5. Carlsson, Christer: *On the principles for problemsolving heuristics in a multilevel, multigoal control problem*. IJCAI-75. Åbo, 1975.
6. Caruthers, Felix P. & Harold Levenstein (ed.): *Adaptive control systems*. Pergamon Press. New York, 1963.
7. Churchman, C. West: *The design of inquiring systems*. Basic Books Inc. London, 1971.
8. Johnsen, Erik: *Studies in multiobjective decision models*. Studentlitteratur. Lund, 1968.
9. Mesarovic, Mihajlo D.: *Foundations for a general systems theory*. Ingår i Mesarovic (ed.): *Views on general systems theory*. John Wiley & Sons. New York, 1964.
10. Mesarovic, Mihajlo D. & D. Macko-Y. Takahara: *Theory of hierarchical, multilevel systems*. Academic Press. New York, 1970.

- *målaggregeringen* sker analogt via målrelationerna och ger därför möjligheter till en motsvarande analys.
- *synergieffekten* kan återges som resultatet av en samverkan mellan resp. intra-, inter- och målrelationerna, varför olika synergiformer kan analyseras mot varierande relationskonstellationer.

## 5. Konklusion

Vi fann att om adaptiv multimålkontroll implementerats i en statisk problemsituation och det därvid är möjligt att genom samordning av en mängd av lokala adaptionsprocesser förverkliga en global adaptionsprocess, resulterar denna i att samtliga målsättningar satisfieras simultant. Är problemsituationen dynamisk nås motsvarande resultat om den globala adaptionsprocessen förmår skapa ett ultrastabilt systemtillstånd.

Likväl är det fortfarande en öppen fråga om de visade principerna vid en operationalisering kommer att innefatta de funktionselement som är nödvändiga och/eller tillräckliga för att lösa multimålproblemet.

(Devil's Dictionary: *Logic*: the art of thinking and reasoning in strict accordance with the limitations and incapacities of the human misunderstanding.)

### Referenser:

1. Ackoff, Russell L.: *Towards a system of systems concepts*. Management Science, vol. 17, nr. 11. 1971.
2. Ackoff, Russell L. & Fred E. Emery: *On purposeful systems*. Aldine. Chicago, 1972.
3. Beer, Stafford: *Brain of the firm*. Allen Lane. London, 1972.
4. Carlsson, Christer: *Om principerna för en operativ multimålkontroll av företaget*. Lic. avhandl. Åbo, 1973.
5. Carlsson, Christer: *On the principles for problemsolving heuristics in a multilevel, multigoal control problem*. IJCAI-75. Åbo, 1975.
6. Caruthers, Felix P. & Harold Levenstein (ed.): *Adaptive control systems*. Pergamon Press. New York, 1963.
7. Churchman, C. West: *The design of inquiring systems*. Basic Books Inc. London, 1971.
8. Johnsen, Erik: *Studies in multiobjective decision models*. Studentlitteratur. Lund, 1968.
9. Mesarovic, Mihajlo D.: *Foundations for a general systems theory*. Ingår i Mesarovic (ed.): *Views on general systems theory*. John Wiley & Sons. New York, 1964.
10. Mesarovic, Mihajlo D. & D. Macko-Y. Takahara: *Theory of hierarchical, multilevel systems*. Academic Press. New York, 1970.