

# Anvendelse af multimålsætningsmodeller ved industrilokalisering

---

Af Hasse Højmark<sup>1)</sup>, M. Bundgaard-Nielsen<sup>2)</sup> og  
K. Strange Nielsen<sup>3)</sup>

## *Resumé*

*I artiklen gennemgås anvendelsen af en multimålsætningsprocedure på et realistisk beslutningsproblem vedr. placeringen af en ny – og forurenende industrivirksomhed. Det konkluderes, at det er praktisk muligt at anvende den skitse-rede procedure til løsningen af en række problemer indenfor miljø- og industri-planlægningen.*

## Indledning

Ved placeringen af nye industrivirksomheder i f.eks. et egnsudviklingsområde er det nødvendigt, at de krav, der fra det offentliges side stilles om rensning af f.eks. spildevandet fra den planlagte produktion, ikke medfører, at produktionen bliver urentabel. Kravet om rentabilitet kombineret med ønsket om at tiltrække ny industri kan der-

---

1) civilingeniør.

2) lektor, økonomigruppen, Institut for Kemiindustri, Danmarks tekniske Højskole.

3) civilingeniør, Vandkvalitetsinstituttet ATV.

Artiklen modtaget i august 1976.

# Anvendelse af multimålsætningsmodeller ved industrilokalisering

---

Af Hasse Højmark<sup>1)</sup>, M. Bundgaard-Nielsen<sup>2)</sup> og  
K. Strange Nielsen<sup>3)</sup>

## *Resumé*

*I artiklen gennemgås anvendelsen af en multimålsætningsprocedure på et realistisk beslutningsproblem vedr. placeringen af en ny – og forurenende industri-virksomhed. Det konkluderes, at det er praktisk muligt at anvende den skitse-rede procedure til løsningen af en række problemer indenfor miljø- og industri-planlægningen.*

## Indledning

Ved placeringen af nye industrivirksomheder i f.eks. et egnsudviklingsområde er det nødvendigt, at de krav, der fra det offentliges side stilles om rensning af f.eks. spildevandet fra den planlagte produktion, ikke medfører, at produktionen bliver urentabel. Kravet om rentabilitet kombineret med ønsket om at tiltrække ny industri kan der-

---

1) civilingeniør.

2) lektor, økonomigruppen, Institut for Kemiindustri, Danmarks tekniske Højskole.

3) civilingeniør, Vandkvalitetsinstituttet ATV.

Artiklen modtaget i august 1976.

ved medføre, at det offentlige – d.v.s. den enkelte kommune – må investere i rensningsforanstaltninger for såvel kommunale som industrielle udledninger for derved at kompensere for en øget spildevandstilførsel fra den planlagte nye industri. Og resultatet af øgede kommunale rensningsudgifter vil næsten automatisk blive en forøget skatteprocent.

Beslutningen om placeringen af en ny industrivirksomhed fører derved til en beslutningssituation, hvor de forskellige interessenter – kommunen, miljøinteresser og virksomheden – må forsøge at finde frem til et kompromis, der tilfredsstillende de forskellige interessenters individuelle målsætninger.

## Beslutningsmodeller

Ovenstående problem kan betragtes som et multimålsætningsproblem, og følgelig kan de løsningsmetoder, der kan komme på tale, klassificeres som hos Johnsen (1). En noget grovere inddeling af løsningsmetoderne ville være inddeling i *iterative* og i *ikke-iterative* (søgelære) metoder.

Et klassisk eksempel på en ikke-iterativ løsning er målprogrammering (2). Ved målprogrammering minimeres afvigelserne mellem de realiserede mål  $Z_k(\underline{x})$ ,  $k = 1, 2, \dots, T$  og de ønskede mål  $A1_k$  under hensyn til de givne begrænsninger, der bekvemt kan udtrykkes som  $\underline{x} \in \underline{X}$ , hvor  $\underline{x}$  er en aktivitetsvektor, og  $\underline{X}$  er mængden af alle mulige aktiviteter, der kan komme på tale. Mere præcist kan problemstillingen udtrykkes således:

$$\min \sum_{k=1}^T | Z_k(\underline{x}) - A1_k | \quad k = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

u.h.t.  $\underline{x} \in \underline{X}$ ,

Ved at vægte – prioritere – opfyldelsen af de enkelte delmål kan målprogrammerings metoden udbygges, d.v.s. i stedet for at løse (1) kunne man betragte:

$$\min \sum_{k=1}^T P_k \cdot \{ Z_k(\underline{x}) - A1_k \} \quad k = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

u.h.t.  $\underline{x} \in \underline{X}$ ,

I (2) ville man tillægge de højeste prioriterede mål den højeste vægtkoefficient  $P$ . I praksis synes målprogrammering ifølge Cohon og Marks (3) at være en velegnet løsningsmetode ved problemer i de tilfælde, hvor man ganske nøje kan fastlægge målværdierne  $A1_k$  – og hvor beslutningstagerne ikke under påvirkning af de løsninger, de bliver præsenteret for, skifter præference.

Forskellige forfattere har i erkendelse af, at mange komplekse beslutningssituationer netop er iterative, d.v.s. søge-lære processer, forsøgt at videreudvikle målprogrammering, således at metoden bedre svarer til sådanne realistiske beslutningsforløb. Et eksempel på en sådan videreudvikling af målprogrammering er interaktiv målprogrammering udviklet af Fink og Borch (4). Et eksempel på en klart *iterativ* metode er den af Monarchi, Kisiel og Duckstein (5) udviklede SEMOPS procedure. Lad der være givet fem måltyper:

- 1) Det  $j$ 'te mål må højst antage værdien  $A1_j$ , d.v.s.:  $Z_j(\underline{x}) \leq A1_j$ .
- 2) Det  $i$ 'te mål skal mindst være  $A1_i$ , d.v.s.:  $Z_i(\underline{x}) \geq A1_i$ .
- 3) Det  $m$ 'te mål skal ligge i intervallet  $A1'_m$  til  $A1''_m$ , d.v.s.:  
 $A1'_m \leq Z_m(\underline{x}) \leq A1''_m$ .
- 4) Det  $k$ 'te mål skal være lig med  $A1_k$ , d.v.s.:  $Z_k(\underline{x}) = A1_k$ .
- 5) Det  $n$ 'te mål skal ligge uden for intervallet  $A1'_n$ , d.v.s.:  
 $Z_n(\underline{x}) \geq A1''_n$   
 eller  
 $Z_n(\underline{x}) \leq A1'_n$

Man kan derpå definere en målopfyldelsesindikator  $d$  – der angiver, at målet er opfyldt, hvis værdien af  $d$  er mindre end 1. Svarende til hver af de fem måltyper fås indikatorerne.

$$1) d_1 = Z_j(\underline{x}) / A1_j$$

$$2) d_i = A1_i / z_i(\underline{x})$$

$$3) d_m = [A1_m / (A1'_m + A1''_m)] [A1'_m / z_m(\underline{x}) + Z_m(\underline{x}) / A1''_m]$$

$$4) d_k = (A1_k / z_k(\underline{x}) + z_k(\underline{x}) / A1_k) / 2$$

$$5) d_n = \frac{A1'_n - A1''_n}{A1''_n}$$

Derpå formuleres kriteriefunktionen

$$K = \sum_{k=1}^T d_k$$

og følgende optimeringsproblem løses:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^T d_k \tag{3}$$

$$\text{u.h.t. } \underline{x} \in \underline{X}$$

Løsningen til (3) vurderes herefter af beslutningstagerne – interessenterne – og som et resultat heraf træffes der evt. beslutning om at fixere et eller flere af de opstillede mål.

Dernæst løses problemet:

$$\text{Min} \sum_{k=1}^m d_k \quad k \neq j \tag{4}$$

$$\text{u.h.t. } \underline{x} \in \underline{X},$$

$$\text{samt } d_j = \underline{1}.$$

Ved succesivt at gennemprøve virkningen af at fixere målopfyldelsen af et eller flere mål får beslutningstagerne mulighed for at vurdere »trade-off«-effekten mellem de forskellige mål – og herved lægges gennem den skitserede iterative procedure grunden for at finde et kompromis mellem de forskellige interessenters individuelle målsætninger. Et kompromis der vel at mærke fremkommer som et resultat af en *søge lære proces*.

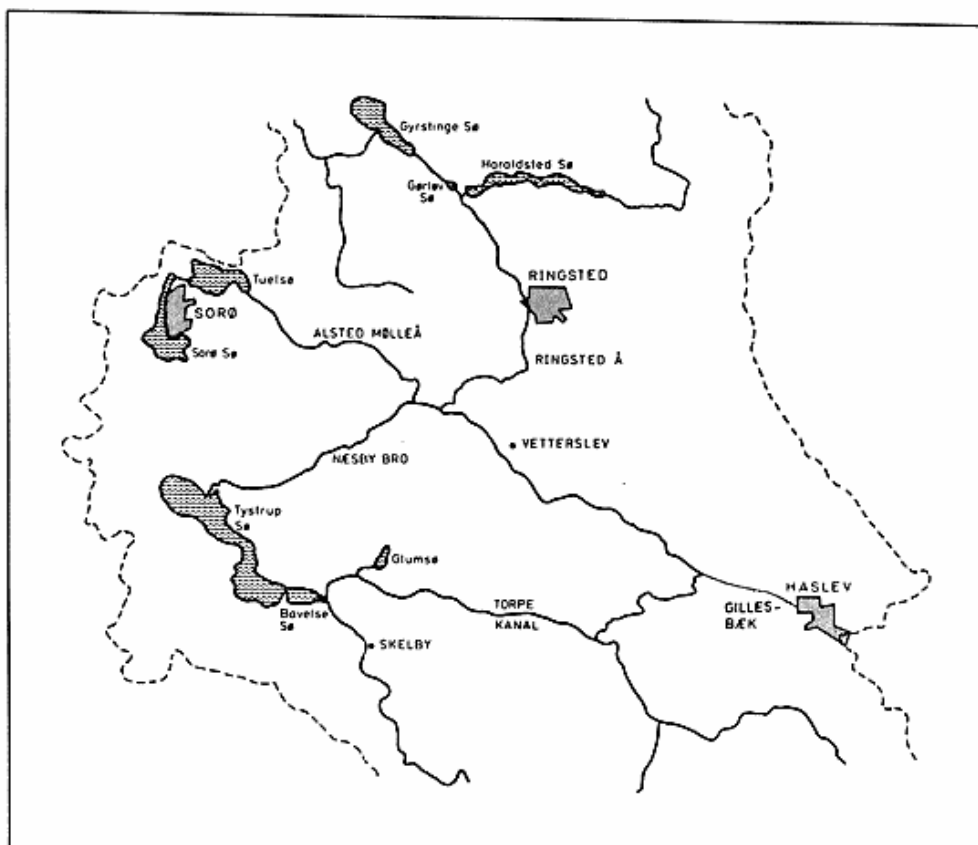


Fig. 1. Suså. Systemet i Sydsjælland.

## Et planlægningseksempel

I fig. 1 er vist en del af Susåsystemet i Sydsjælland. I Sorø, Ringsted og Haslev findes kommunale renseanlæg for spildevand. En ny industrivirksomhed skal placeres i området og vil forøge fosforindholdet i Susåen ved udledning af mere eller mindre rensset spildevand. Sammenhængen mellem udledningen af fosforholdigt spildevand fra de kommunale renseanlæg og fra den planlagte industrivirksomhed og fosforforureningen forskellige steder i vandsystemet er givet ved en første ordens differentialligning formuleret af Willis et.al. (6).

Følgende målsætninger antages at gælde for de forskellige interesser:

### *Miljøinteresser:*

- 1) Mindst mulig udledning af fosfor til Tystrup Sø:

$$Z_1 \leq A1_1 = 55 \text{ tons fosfor/år.}$$

- 2) Mindst mulig udledning af fosfor til Tuelsø:

$$Z_2 \leq A1_2 = 10 \text{ tons fosfor/år.}$$

### *Den nye industrivirksomhed:*

- 1) Størst muligt overskud efter skat og afskrivning i procent af den nye virksomheds egenkapital:

$$Z_3 \geq A1_3 = 18.0\%$$

### *Kommunale interesser:*

- 4) Mindst mulig forøgelse af beskatningsprocenten i Ringsted:

$$Z_4 \leq A1_4 = 0.1\%.$$

- 5) Mindst mulig forøgelse af beskatningsprocenten i Haslev:

$$Z_5 \leq A1_5 = 0.1\%.$$

- 6) Mindst mulig forøgelse af beskatningsprocenten i Sorø:

$$Z_6 \leq A1_6 = 0.1\%.$$

I praksis vil der være følgende 4 mulige placeringer af industrivirksomheden:

- A = placering i Ringsted.
- B = placering i Haslev.
- C = placering i Sorø med udledning til Tuelsø.
- D = placering i Sorø med afskærende ledning til Alsted Mølleå.

Renseomkostningerne som funktion af personækvivalenttallet PE er angivet med udtrykket:

$$(25/PE \cdot 10^{-3})^{-0.23} + 15[(PE \cdot 10^{-3})^{-0.11}] \cdot PE \quad (5)$$

hvor første led er årlige anlægsudgifter, og andet led er årlige driftsudgifter. Rensegraden for fosfor antages at kunne variere kontinuert mellem 0.3 og 0.9, idet mekanisk-biologisk rensning fjerner 30% af fosformængden, og kemisk fældning fjerner 90%.

Eksemplet er desuden baseret på følgende kommunale data:

	Ringsted	Haslev	Sorø
Indbyggere pr. 1.10.1972	26125	11643	14068
Antal, PE	42000	13000	21100
Skatteprocent	12,5	15,3	14,9
Skattegrundlag × 1000 kr.	364000	157000	196000

Industrivirksomheden udleder spildevand i mængde svarende til 20 000 PE, og egen kapitalen er kr. 14.280.000. (Ved placering i Ringsted er der tale om en udbygning af en allerede eksisterende virksomhed).



For målene kan der opstilles følgende udtryk:

$$Z_1 = E(1-X_1) + F(1-X_2) + G(1-X_3) + H \quad (6)$$

hvor 1. led er udledning fra Ringsted, 2. led er fra Haslev, 3. led er fra Sorø, og det sidste led er baggrundsbelastning. X'erne betegner rensningsgraden, og værdien af de konstanter, der indgår i (6) og (7), fremgår af nedenstående skema:

Aktivitet	E	F	G	H	J
A	34.73	7.86	0	46.76	38.51
B	18.17	18.06	0	46.76	38.51
C	18.17	7.86	0	47.80	69.17
D	18.17	7.86	39.92	45.72	0

$$Z_2 = J(1-X_3) \quad (7)$$

er udledningen til Tuelsø fra Sorø.

Mål 3 har formen

$$Z_3 = 20 - \left( \frac{(25-K)(L(X-0.3))^{-0.23} + (15-M)(L(X-0.3))^{-0.11}}{N(X-0.3) + P} \right) / Q \quad (8)$$

Mål 4, 5 og 6 har formen

$$Z = \left( \frac{(K(L(X-0.3))^{-0.23} + M(L(X-0.3))^{-0.11}}{N(X-0.3) + R} \right) / S \quad (9)$$

Rensningen for fosfor foretages af virksomheden og den pågældende kommune i fællesskab efter en på forhånd fastlagt fordelingsnøgle for udgifterne udtrykt ved koefficienterne K og M. Ligningerne (8) og (9) svarer til ligning (5) således, at  $PE = N(X-0.3)$  og  $PE \cdot 10^{-3} = L(X-0.3)$ . Vi ser, at  $Z_3$  højst kan blive 20, nemlig for  $X = 0.3$ . For  $X = 0.3$  antager  $Z_4$ ,  $Z_5$  og  $Z_6$  værdien 0 (uændret skatteprocent). Ved anlæg af afskærende ledning er de årlige udgifter P og R for henholdsvis virksomhed og kommune. Q er slagteriets egenkapital/100 og S er det kommunale skattegrundlag/100.

Den beskrevne SEMOPS algoritme blev i forbindelse med et eksamensprojekt på Institutet for Kemiindustri anvendt til at vurdere konsekvenserne for de ovenfor skitserede målsætninger for de fire forskellige placeringer af den nye virksomhed.

Det iterative forløb for placeringsalternativet C er som eksempel beskrevet i følgende tabeller:

*Tabel 1*

Ønskede målværdier, $\bar{A}_I$	(55.0 10.00 18.0 0.1 0.1 0.1)
Optim. målværdier, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 14.18 17.54 0.237 0.027 0.189)
1. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 14.22 17.54 0.237 0.027 0.189)
2. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 10.00 17.29 0.237 0.027 0.208)
3. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 21.78 18.00 0.237 0.027 0.154)
4. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(61.79 14.19 17.54 0.100 0.027 0.189)
5. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 14.19 17.54 0.237 0.027 0.189)
6. mål fastholdt, $\bar{Z}_{opt}$	(54.73 32.59 18.70 0.237 0.027 0.100)

Første gennemløb – Case C.

Tabel 1 viser et gennemløb med algoritmen. Første løsning til problemet fremgår af anden række i tabellen, hvor alle mål kan variere og  $\Sigma d$  minimeres. De efterfølgende rækker er minimering af  $\Sigma d$  med et mål fastholdt ad gangen til vurdering af følsomheden.

Ud fra gennemløbene i tabel 1 vælges nu at fastfryse mål 1, 2 og 4, idet skatteforøgelsen i Ringsted tegner til at blive meget stor. Den øvre grænse for Haslevs skatteforøgelse er i overensstemmelse hermed sat op, idet der tilsigtes en lige stor stigning i de to byer. Vi har også for Sorø's vedkommende sat maximum for skatteforøgelsen i vejret. Løsningen på andet gennemløb under diverse reviderede målforudsætninger ses i tabel 2.

Tabel 2

Revid. målværdier, A1	(55.0	10.0	17.3	0.15	0.15	0.2)
Optimale målværdier m. mål 1, 2 og 4 fixeret, $\bar{Z}_{opt}$	(55.00	10.00	17.29	0.151	0.208	0.208)

Andet gennemløb – Case C.

Tabel 3

Revid. målværdier, $\bar{A}\bar{I}$	(55.0	10.0	17.3	0.1705	0.1705	0.2)
Optimale målværdier m. mål 1, 2 og 4 fixeret, og mål 4 lig med mål 5, $\bar{Z}_{opt}$	(55.0	10.0	17.29	0.1705	0.1704	0.208)

Endeligt resultat – Case C.

Såfremt vi herefter kræver, at skatteforøgelserne i henholdsvis Ringsted og Haslev skal være lige store, d.v.s.  $Z_4 = Z_5$ , fås resultaterne i tabel 3.  $\bar{Z}_{opt}$  repræsenterer ikke nogen optimal målopfyldelsesvektor i traditionel forstand, men må anskues som udtryk for en *tilfredsstillende* målopfyldelse ved industriplaceringsalternativet C.

På ganske tilsvarende vis er de øvrige placeringsalternativer undersøgt – resultatet heraf er vist i tabel 4.

Tabel 4

Industriplacering	Mål					
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
A (Ringsted)	55.0	10.0	17.0	0.06	0.10	0.19
B (Haslev)	55.0	10.0	17.0	0.15	0.18	0.19
C (Sorø)	55.0	10.0	17.3	0.17	0.17	0.21
D (Sorø)	55.0	0.0	15.2	0.19	0.20	0.37

Endelig løsning for alle placeringsmuligheder.

Konklusionen på den gennemførte undersøgelse må ud fra tabel 4 være, at industrivirksomhedens placeres i Ringsted – hvilket faktisk også er sket for den virksomhed, der har dannet »model« for ovenstående eksempel. Begrundelsen herfor er følgende:

- 1) Miljøinteressernes krav til maximal udledning af fosfor er netop opfyldt ( $Z_1$  og  $Z_2$ ).
- 2) Der opnås med placeringen i Ringsted den mindste stigning i kommunal skatteprocent for samtlige kommuner ( $Z_4$ ,  $Z_5$  og  $Z_6$ ).
- 3) Virksomhedens driftsresultat bliver ikke signifikant forbedret ved en alternativ placering – i et enkelt tilfælde (placering D) forringes driftsresultatet dog betydeligt.
- 4) Endelig kan det anføres, at placeringen i Ringsted medfører tilnærmelsesvis samme rensningsgrad i de to andre kommuner på omkring 70%.

### Konkluderende bemærkninger

I artiklen er demonstreret anvendelsen af en multimålsætningsprocedure på et realistisk beslutningsproblem.

Erfaringerne med anvendelsen af SEMOP's proceduren har vist, at det er praktisk gørligt at formulere beslutningsproblemerne inden for miljø- og industriplanlægningen, således at det bliver muligt at tage hensyn til de ofte stærkt modstridende målsætninger, der vil være tale om.

Sidst men ikke mindst skal det understreges, at proceduren rent regneteknisk er forholdsvis simpel at anvende, når først de fysiske og økonomiske sammenhænge er kendt – og programmerede.

*Litteratur:*

- 1) Johnsen, E., Multiobjective Decision Models, Studentlitteratur Lund, (1968).
- 2) Charnes, A. og Cooper, W. W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming Vol. 1, Wiley New York (1961).
- 3) Cohon, J. L. og Marks, D. H., A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques, Water Res. Research, 11, No. 2. p. 208 (1975).
- 4) Borch, S. M. og Fink, S. M., Multi-objective planlægningsmetoder, IMSOR, (1975).
- 5) Monarchi, D. E., Kisiel C. E. og Duckstein, L., Interactive Multiobjective Programming in Water Resources. A case study, Water Res. Research, 9, No. 4, p. 837, (1973).
- 6) Willis, R., Andersson, D. R. and Dracup, J. A., Steady State Water Quality Modelling in Streams, Journal of the Environmental Engineering Div., Vol. 101, No. EE2 245 (1975).

Erfaringerne med anvendelsen af SEMOP's proceduren har vist, at det er praktisk gørligt at formulere beslutningsproblemerne inden for miljø- og industriplanlægningen, således at det bliver muligt at tage hensyn til de ofte stærkt modstridende målsætninger, der vil være tale om.

Sidst men ikke mindst skal det understreges, at proceduren rent regneteknisk er forholdsvis simpel at anvende, når først de fysiske og økonomiske sammenhænge er kendt – og programmerede.

*Litteratur:*

- 1) Johnsen, E., Multiobjective Decision Models, Studentlitteratur Lund, (1968).
- 2) Charnes, A. og Cooper, W. W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming Vol. 1, Wiley New York (1961).
- 3) Cohon, J. L. og Marks, D. H., A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques, Water Res. Research, 11, No. 2. p. 208 (1975).
- 4) Borch, S. M. og Fink, S. M., Multi-objective planlægningsmetoder, IMSOR, (1975).
- 5) Monarchi, D. E., Kisiel C. E. og Duckstein, L., Interactive Multiobjective Programming in Water Resources. A case study, Water Res. Research, 9, No. 4, p. 837, (1973).
- 6) Willis, R., Andersson, D. R. and Dracup, J. A., Steady State Water Quality Modelling in Streams, Journal of the Environmental Engineering Div., Vol. 101, No. EE2 245 (1975).