

The initial location at the University of Vaasa, Finland
<http://lipas.uwasa.fi/~ts/publicat/MallSuun1977.pdf>

Timo Salmi (1977). Mallit suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineenä.
Lineaarinen optimointimalli huonekalutehtaan vuosibudjetoinnissa CASE.
Tietojenkäsittelyn teemapäivät. Valtion koulutuskeskus.

<http://www.uwasa.fi/laskentatoimi/henkilokunta/salmitimo/>

KTT Timo Salmi
Helsingin kauppakorkeakoulu

MALLIT SUUNNITTELUN JA PÄÄTÖKSENTEON APUVÄLINEENÄ:

Lineaarinen optimointimalli huonekalutehtaan vuosibudjetoinnissa CASE

1. JOHDANTO

Esityksessä tarkastellaan lineaarisen optimointimallin käyttöä huonekalutehtaan vuosibudjetoinnin tukena. Tarkoituksena ei ole käsitellä aihetta yleisesti, vaan esittää käytännön sovellutus mallin soveltamisesta.

Sovellutuksessa aikaansaatiin tuloksen (katetuotto) kannalta optimaalinen vuosibudjetti ottaen huomioon samanaikaisesti sekä yrityksen ulkopuolisia että sisäpuolisia rajoituksia. Mallin avulla selvitettiin ensin huonekalutehtaan paras tuotevalikoima lineaarisen optimoinnin mallin ja sen tietokoneratkaisun avulla. Tämän ratkaisun perusteella laadittiin manuaalisesti valmistusohjelma ja budjetit suunnitteluvuodelle.

2. ONGELMAN KUVAUS

Sovellutuksen kohteena on huonekalutehdas, joka valmistaa jatkuvana sarjatuotantona pehmustamattomia kodin huonekaluja keskittyen erityisesti määrätyn tyyppisiin kalusteisiin (anonymiteettisyistä on tiettyjä tietoja yleistetty tai epämääräistetty). Tuotevakikoiman alkuperäinen määrä oli noin 10 tuotetta. Tuotteiden hintataso on pidetään vakaana sekä kilpailu- että etukäteissitoumuksista. Tehtaan tuotanto jakautuu kolmeen osastoon,

jotka ovat koneistamo, maalaamo ja pakkaamo. Osastot muodostavat tuotannon kustannuspaikat. Työaika- ja valmistuspalkkastandardit on työtutkimuksen avulla määritelty osastoittain kaikille tuotteille. Tämä oli eräs sovelutuksen tekemisen oleellinen edellytys, joka oli jo valmiiksi olemassa. Laajennusinvestointien mahdollisuutta ei aluksi otettu suunnittelussa lainkaan huomioon rahoitusmarkkinoiden kireyden vuoksi, vaan suunnitelma laadittiin aluksi suunnitteluhetken kapasiteetin mukaan.

Yrityksen suurimpana ongelmana on ollut niukan valmistuskapasiteetin tehokas ja taloudellinen hyväksikäyttö. Tuotevalikoimaa oli tästä syystä karsittu useampaan otteeseen vähemmän kannattavasta päästä. Valmistussuunnitelman laatimista "tavalliseen tapaan" vaikeutti tuotteiden keskinäinen riippuvuus tuotevalikoimassa. Sen sijaan tuotteiden markkinointipuoli ei ole tuottanut tehtaalle ongelmia.

3 MALLIN RAKENTAMINEN PARHAAN TUOTEVALIKOIMAN SELVITTÄMISEKSI

Parhaan tuotevalikoiman selvittämiseksi ja tuotteiden valmistettävien optimimäärien ratkaisemiseksi rakennettiin yhden vuoden pituista aikaperiodia varten lineaarinen optimointimalli. (Lineaarinen optimointimalli, kuten tunnettua maksimoi annetun lineaarisen tavoitefunktion määriteltyjen lineaaristen rajoitusten vallitessa.) Mallin tavoitteena käytettiin tuotteistaisten katetuottojen summan maksimointia. Kaikille tuotteille on laskettu katetuotto vähentämällä nettomyyntihinnasta raaka-aineiden, työpalkkojen ja muuttuvien yleiskustannusten osuus. Jokaisesta tuotteesta on olemassa tuotekalkyyli, jossa raaka-ainekustannukset on eritelty raaka-aineittain

ja palkkauskustannukset sekä standardityöajat osastoittain. Seuraavassa käydään käytetty malli läpi pääkohdittain.

31. Mallin päätöksentekomuuttujat

Mallissa käytettiin seuraavia muuttujia, joiden yhteyteen on merkitty tavoitefunktion muodostamisessa käytetyt laskentatoimen tiedot:

Muuttuja	Tuotteen nimi	Netto- myynti- hinta	Raaka- aine	Palkat	Muutt. yk:t	Kate
X208	vuodelaatikko	69	31	9	5	24
X210	parisänky I	368	.	.	.	125
X211	parisänky II	.				.
X212	parisänky III	.				.
X254	lastensänky	.				.
X266	kerrossänky I	.				.
X267	kerrossänky II	.				.
X268	kerrossänky III					
X270	kerrossänky IV					
X271	kerrossänky V					
X290	tikapuut					
X400	laatikosto I					
X406	laatikosto II					
X401	.					
X402	.					
X403						
X404						
X451						
X452						
X453						
X455						
X466						
X465						
X466						
X612	.					
X616	.					.
X620	tasolevy III					.
X650	kampaustaso I					
X651	kampaustaso II					41
XLOA	lainan otto					
XKOR	korot					

32. Tavoitefunktio

Tavoitteena on siis maksimoida budjettivuoden kokonaiskatetuotto, josta on vähennetty lainanotosta aiheutuneet korkokulut

$$\text{Max } 24X208 + 125X210 + \dots + 41X651 - XKOR$$

33. Tietoja rajoituksia varten

Mallin rajoitusten muodostamista varten luetteloidtiin kunkin osaston (koneistamo, maalaamo, pakkaamo) työaika-standardit, jotka olivat ^{tuotteittain} valmiiksi selvitettyinä jo ennen sovellutukseen ryhtymistä. Vaikka tuotteiden menekki-^{aikaisemmin} vaikeuksia ei ollutkaan/esiintynyt, selvitettiin tuotteittain ja asiakkaittain edellisen vuoden myynti. Tuotteittaisten myyntimäärien ylärajan määrittämiseksi suunnittelukaudelle laskettiin kunkin tuotteen kohdalla yhteen myynti eri asiakkaille ja saadut tulokset korjattiin budjettivuodelle ennakoitujen olosuhteiden mukaisiksi.

Tuote	Kysynnän yläraja	T y ö a i k a s t a n d a r d i t			
		koneistamo	maalaamo	pakkaamo	yhteensä
208	3 000	0,62	0,23	0,23	1,08
210	1 000	3,54	1,32	.	.
211					
.					
.					
.					
620	4 000				
650		2,19			
651	2 000	2,00			

Lisäksi selvitettiin kunkin osaston kapasiteetti työtunteina ilmaistuna, siten, että kapasiteetilla tarkoitettiin tuntimäärää, joka täysitehoisesti voidaan työskennellä osastolla. Ylityömahdollisuutta ei suunnitelmiin

sisällytetty hienoisen työvoimapulan johdosta. Kapasiteetit olivat käytetyillä perusteella laskettuina

Koneistamo	57 500	std. tuntia
Maalaamo	■ ■ ■ ■	"
Pakkaamo	■ ■ ■ ■	"

331. Myyntirajoitukset

Kunkin tuotteen osalta rajoitetaan valmistusmäärä korkeintaan kysynnän ylärajaa vastaavaksi

$$X_{208} \leq 3000$$

$$X_{210} \leq 1000 \quad \text{jne}$$

332. Tuotteiden väliset riippuvuudet

Tuotteiden välillä on voimakkaita riippuvuussuhteita. Tietyn tuotteen myynti voi vaikuttaa paljonkin toisen tuotteen myyntimäärään, jopa niin, että joidenkin tuotteiden myynnille toisen tuotteen valmistaminen on välttämätön edellytys. Esimerkkinä on vuoteen alla säilytettävä vuodevaatelaatikko, jonka myymiselle vuoteen valmistaminen on välttämätön edellytys. Tällä kohtaa esimerkiksi asetettiin vaatimus, että vuodelaatikon valmistusmäärä ei saa olla yli 30% niiden vuoteiden yhteismäärästä, joiden alla sitä voidaan käyttää.

$$X_{208} \leq 0,3(X_{212} + X_{254} + X_{270} + X_{271})$$

Vastaavia samanlaisia riippuvuussuhteita otettiin lukuun useita muitakin. Erityisesti tällä kohtaa mallin käytön edut tulevat selvästi esiin, koska käypien vaihtoehtojen manuaalinen selvittäminen on hyvin hankala tehtävä.

333. Kapasiteettirajoitukset

Osastojen valmistuskapasiteetti oli ennen mallin rakentamista todettu eniten toimintaa rajoittavaksi tekijäksi. (Mallin ratkaisemisen jälkeen todettiin asian olevan juuri näin. Sovellutuksen seurauksena syntyikin ehdotus osastoittaisten kapasiteettien lisäämiseksi niiden saatamiseksi mahdollisimman yhteensopiviksi.)

Kunkin osaston kohdalle laadittiin rajoitus, jonka mukaan osastolla tapahtuneen valmistuksen yhteistuntimäärä ei saa ylittää osaston kokonaiskapasiteettia. Esimerkiksi koneistamon kohdalla käytettiin rajoitusta

$$0,62X208 + 3,54X210 + \dots + 2,00X651 \leq 57500$$

334. Rahoitusrajoitukset

Malliin rakennettiin myös rahoitusrajoitus. Sen tehtävänä oli pitää valmistus sellaisissa puitteissa, että budjettikauden kassaanmaksut riittäisivät valmistuksen aiheuttamien muuttuvien kustannusten aiheuttamien kassastamaksujen, kiinteiden kustannusten aiheuttamien kassastamaksujen sekä muiden, ennalta tunnettujen kassastamaksujen kattamiseen. Kassavirtarajoituksen lisäksi malliin sisällytettiin lainanottomahdollisuuden ylärajarajoitus sekä yhtälö joka määritteli lainan (XLOA) johdosta syntyvän korkomaksun (XKOR).

34. Mallin ratkaiseminen

Malli ratkaistiin tietokoneella eräällä ^{hyvin} tavallaanomisella lineaarisen optimoinnin ratkaisuohjelmalla. Tuloksena saatiin mallin ehdottamana kunkin tuotteen tuotantomäärä, lainanotto ehdotus sekä tieto sitovista rajoituksista.

4. RATKAISUN KÄSITTELY

41. Ensimmäinen ratkaisu

Mallin ehdottaman ratkaisun mukaan tuli tuotevalikoimaan ottaa mukaan ainostaan 73% alkuperäisen tuotevalikoiman tuotteista. Aluksi tuntui ehdotettu tuotevalikoiman supistusehdotus aivan liian jyrkältä, mutta yksityiskohtaisemman tarkastelun jälkeen todettiin, että jäljelle jäävät tuotteet korvaavat karsitut tuotteet riittävän hyvin. Tätä käsitystä vahvistivat myös jo aikaisemmin tehdyt tuotevalikoiman karsimissuunnitelmat.

Ratkaisun perusteella todettiin myös tehtaan osastojen kapasiteetin tulevan hyvin epätasapainoisesti käytettyä. Koneistamon kapasiteetti muodostui valmistuksen pullonkaulaksi, kun taas maalaamoon jäi käyttämätöntä kapasiteettia ratkaisun mukaan 23% ja pakkaamoon 33%.

Ratkaisun perusteella todettiin myös eräiden tuotteiden myyntirajoitusten muodostuvan aikaisemmasta poikkeavasti sitovasti toimintaa rajoittavaksi. Tarkempi analyysi osoitti kuitenkin, että rajoittaviksi muodostuneiden myyntimäärien kohdalla ei ollut mahdollisuutta välittömään myynnin lisäykseen. Rahoitus ei muodostunut pullonkaulaksi.

42. Toinen ratkaisu

Saadun ratkaisun ja sen analyysin perusteella kiinnitettiin seuraavassa vaiheessa huomio erityisesti koneistamon kapasiteettiin. Asiaa tarkemmin tutkittaessa todettiin, että koneistamosta olisi mahdollista saada enemmän kapasiteettia irti hankkimalla porakone ja järjestelmällä joidenkin tuotannossa peräkkäin olevien koneiden paikat paremmin. Näillä toimenpiteillä koneistamon kapa-

siteetti olisi saatu kohotettua 57 500 tunnista 70 000 tuntiin. Samalla todettiin, että myös muiden osastojen kapasiteetissa voitaisiin saada aikaan vähäistä lisäystä uudelleenjärjestelyillä.

Malli ratkaistiin uudelleen ottaen huomioon mahdolliset lisäyksen kapasiteeteissa. Syntyneet muutokset olivat huomattavia. Katetuoton arvo mallin tavoitefunktiossa nousi 16%. Tuotevalikoimaa ratkaisu ehdotti supistettavaksi ainostaan 90%:iin, ensimmäisen ratkaisun 73% asemasta. Rahoitus ei muodostanut tässäkään tapauksessa rajoittavaa tekijää. Sen sijaan koneistamon kapasiteetti osoittautui jälleen rajoittavaksi tekijäksi, kun taas muille osastoille jäi edelleenkin käyttämätöntä kapasiteettia.

43. Kolmas ratkaisu

Koneistamon kapasiteetin tultua todettua oleellisimmaksi pullonkaulatekijäksi, selvitettiin koneistamon laajentemismahdollisuutta. Todettiin, että tehdasrakennuksen yhteydessä oleva varastotila oli mahdollista liittää koneistamoon väliseinän purkamisen jälkeen, jolloin uudella tilajärjestelyllä koneistamon kapasiteetti voitaisiin nostaa 96 000 tuntiin sekä samalla hieman lisätä muidenkin osastojen kapasiteettia vapautuvan lattiapinta-alan sopivalla hyväksikäytöllä. Koska rahoitus ei vielääkään muodostunut pullonkaulaksi, todettiin, että kyseisen laajennus olisi mahdollista suorittaa.

Malliin tehtiin asianomaiset muutokset, jolloin saadussa uudessa ratkaisussa ketetuoton arvo lisääntyi vielä 7% edellisestä ratkaisusta. Tuotevalikoiman laajuus pysyi ehdotuksessa ennallaan vaikka edelliseen ratkaisuun verrattuna valikoimassa tapahtui eräitä vaihdoksia.

5. VUOSIBUDJETTIENTEN LAATIMINEN

Kolmannen ratkaisun tarkastelu osoitti, ettei mihinkään siinä kriittisiksi muodostuneista rajoituksista enää ollut mahdollista vaikuttaa, joten se valittiin vuosibudjettien laadinnan perustaksi. Budjetit laadittiin manuaalisesti mallin ehdottamista tuotantomääristä liikkeelle lähtien. Näin ollen laadittiin ensimmäiseksi valmistusohjelma ja sen pohjalta myyntibudjetti. Seuraavaksi laadittiin ratkaisun pohjalta tulossuunnitelma. Tämän jälkeen tehtiin rahoitusbudjetti. Viimeiseksi laadittiin vielä edellisten pohjalta suunnitteluvuoden tase-ennuste.

6. LOPPUTOTEAMUKSIA

Kuvattu sovellutus oli erityisen selväpiirteinen, koska siinä pystyttiin soveltamaan sellaisenaan tuotevalikoiman optimointiongelman "oppikirjaratkaisua". Mallin ratkaiseminen kolmessa vaiheessa, johti oleellisen pulonkaulatekijän löytymiseen sekä parannusehdotukseen sen suhteen.