

MAATALOUDEN TALOUDELLISEN
TUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA N:o 23

*THE AGRICULTURAL ECONOMICS
RESEARCH INSTITUTE, FINLAND
RESEARCH REPORTS, No. 23*

TUOTANTOPANOS—TUOTOS SUHTEESTA NAUDANLIHAN TUOTANNOSSA

JOUKO SIRÉN

SUMMARY:

ON INPUT—OUTPUT RELATIONSHIP IN BEEF PRODUCTION

HELSINKI 1974

Maatalouden taloudellinen
tutkimuslaitos

TIEDONANTOJA N:o 23

The Agricultural Economics
Research Institute, Finland

RESEARCH REPORTS, No. 23

TUOTANTOPANOS - TUOTOS SUHTEESTA
NAUDANLIHAN TUOTANNOSSA

Jouko Sirén

Summary:

ON INPUT-OUTPUT RELATIONSHIP IN BEEF PRODUCTION

Helsinki 1974

ISBN 951-9199-06-3

SISÄLLYS:

Alkulause

1. Johdanto	1
1.1. Tutkimuksen taustaa	1
1.2. Tutkimustehtävän määrittely	3
2. Katsaus aihetta koskevaan aikaisempaan tutkimustyöhön	5
3. Tuotantopanoksen ja tuotoksen välinen suhde	11
3.1. Tuotantofunktion peruskäsitteistä	11
3.2. Tuotto- ja kustannusfunktiot	13
3.3. Tuotantofunktio naudanlihan tuotannossa	16
3.3.1. Tuotantofunktion luonne	16
3.3.2. Aika tuotantoprosessissa	19
4. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavan mallin muodostaminen	21
4.1. Perustekijöistä eläintuotannossa	21
4.2. Mallin muodostaminen	23
4.3. Mallin rajaaminen	26
4.4. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavat mallit	31
4.4.1. Moniyhtälömallit	31
4.4.2. Kahden yhtälön malli	32
4.5. Tutkimusaineisto ja sen käsittely	33
4.6. Funktion muoto ja muuttujat	37
4.6.1. Funktion valinnasta	37
4.6.2. Mallin muuttujat ja funktion muoto	41

5. Mallien parametrien estimaatit	43
5.1. Moniyhtälömallien A ja B parametrien Cobb-Douglas estimaatit	43
5.1.1. Estimointimenetelmät ja parametrien testaus	43
5.1.2. Simultaanisen mallin A estimaatit	46
5.1.3. Rekursiivisen mallin B estimaatit	48
5.2. Kahden yhtälön mallin C parametrien Cobb-Douglas estimaatit	49
5.2.1. Kasvatusvaihe I, alle 200 pv	49
5.2.2. Kasvatusvaihe II, yli 200 pv	50
5.2.3. Kasvatusvaihe III, yli 365 pv	52
5.2.4. Kasvatusvaiheet I-III	53
5.3. Transcendenttisen funktiomuodon antamat estimaatit mallille C	57
5.3.1. Yleistä	57
5.3.2. Transcendenttiset tuotosyhtälöt	58
5.3.3. Transcendenttiset syöntiaikayhtälöt	61
5.4. Tulosten tarkastelua	63
6. Tutkimuksen tulosten sovellutuksista	69
6.1. Yleistä	69
6.2. Sovellutusesimerkki kahdella ruokintatavalla	72
7. Tiivistelmä	80
Kirjallisuus	84
Summary	89
Liitteet	

Alkulause

Tässä tutkimuksessa keskitytään naudanlihan tuotantoprosessiin sisältyvien tekijöiden tarkasteluun pyrkimällä kehittämään sellaista tuotantopanosten, lähinnä rehujen ja tuotoksen välistä suhdetta kuvaavaa mallia, jonka avulla voitaisiin päästä yksityistaloudellisesti edullisimpaan tulokseen naudanlihan tuotannossa.

Tutkimuksen empiirisen osan toteutumisesta olen kiitollinen erityisesti Kotieläinhoidon tutkimuslaitoksen johtajalle professori MARTTI LAMPILALLE. Esimieheni professori MATIAS TORVELA sekä professori LAURI KETTUNEN ja opettajani professori VILJO RYYNÄNEN ovat työn eri vaiheissa antaneet arvokkaita neuvoja. Lisäksi olen saanut rahallista tukea August Johannes ja Aino Tiuran maatalouden tutkimussäätiöltä ja Kyösti Haatajan rahastolta. Englanninkielisen lyhennelmän on kääntänyt JARMO JAAKOLA B.A.

Saamastani avusta esitän parhaat kiitokseni.

Helsingissä elokuussa 1974

Jouko Sirén

1. Johdanto

1.1. Tutkimuksen taustaa

Maamme naudanlihan tuotanto on kasvanut voimakkaasti erityisesti 1960-luvulla. Tuotannon kasvu oli vv. 1958-72 yhteensä 62 % kokonaistuotoksen noustessa viimeainittuna vuonna 106.5 milj. kiloon. Tämän kehityksen ensisijaisena syynä on ollut naudanlihan kysynnän kasvu. Lähinnä taustatekijäksi on luonnehdittava samanaikaisesti ilmennyttä tarvetta maatalouden sisäisen tuotantorakenteen muuttamiseen, tuotannon suuntaamiseen tuotteisiin, joilla on markkinointimahdollisuuksia olemassa. Suomessa tällainen tuote kotieläintalouden piirissä on ollut lähinnä juuri naudanliha.

Edellytykset naudanlihan tuotannon kasvulle ja yleensä lihan tuotantoon perustuvalla nautakarjataloudelle on ensisijaisesti luotu hintapoliittisin keinoin. Kuvan naudanlihan hintakehityksen edullisuudesta substituivaan tuotteeseen, sianlihaan nähden antaa oheinen lukusarja. Se osoittaa taitekohdan sattuneen vuosiin 1965-66, mistä lähtien naudanlihan toteutunut tuottajahinta on kohonnut selvästi sianlihan hintaa suhteellisesti nopeammin.

Vuosi	Tuottajahinta ¹⁾ mk/kg		Hintasuhde nauta/sika
	naudanliha	sianliha	
1962	2.66	2.70	0.99
1964	2.55	3.01	0.84
1965	3.14	3.34	0.94
1966	3.81	3.26	1.07
1967	3.98	3.26	1.22
1968	4.63	3.65	1.27
1969	4.90	3.95	1.24
1970	5.56	4.00	1.39
1971	5.99	4.25	1.41
1972	7.04	4.52	1.56

¹⁾ Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tuottajahintatilastot.

Hintakehityksen myötä parantuneilla tuotantoedellytyksillä on ollut kerrannaisvaikutusta, joka omalta osaltaan on parantanut naudanlihan tuotannon teknisiä ja taloudellisia lisäämismahdollisuuksia. Järjestäytynyt teurasvasikoiden välitystoiminta on tehnyt tuotannon mahdolliseksi suurina yksikköinä myös erillään maidontuotannosta. Toisaalta esim. lihan laatuluokituksen käyttöönotto on vaikuttanut positiivisesti sekä tuotoksen määrän että laadun kehitykseen. Niinpä tuotoksen kasvusta suuri osa on ollut keskiteuraspaimon noususta johtuvaa.

Maassamme ei 1960-luvun alkuun mennessä ollut juuri kokemuksia erikoistuneesta naudanlihan tuotannosta. Ulkoisten tuotantoedellytysten paraneminen toi siten esiin piilevinä olleet ongelmat siitä, miten tuotannon tulisi tapahtua ts. millaista tuotantotekniikkaa, laajasti käsitettynä, tulisi soveltaa. Tiedon tarve kohdistui mm. maassamme olevan eläinaineksen ominaisuuksiin lihantuotannossa, ruokinnallisiin seikkoihin, tuotetun lihan laatuun ja puhdaasti tekniisiin tuotannon järjestämisestä koskeviin kysymyksiin. Ongelmakenttä on kokonaisuutena sangen laaja.

Varsinaisesti 1950-60 lukujen vaihteessa maassamme aloitettiin tutkimustyö, jossa mm. kasvatuskokeiden avulla on pyritty löytämään ratkaisuja esille tulleisiin kysymyksiin. Työ on kohdistunut paitsi kotimaiseen myös ulkomaiseen eläinainekseen ja näiden risteytyksiin. Siitä huolimatta, että resurssit ovat olleet niukat, on kuluneiden yli 10 vuoden aikana kertynyt huomattava määrä tutkimusainestoa, jonka avulla on voitu ratkaista monia naudanlihan tuotannon keskeisiä ongelmia.

Vaikka tämä tutkimustyö selvästi tähtääkin tuotantoedellytysten parantamiseen ja tätä kautta tuotannon kannattavuuden lisäämiseen, on tavoitteen saavuttamiseksi vielä välttämätöntä hankkia lisäselvityksiä ja kokemuksia, kun kysymystä tarkastellaan kokonaisuutena. Nimenomaan taloudellisten edellytysten ja perustekijöiden selvittäminen ei ole ollut riittävää, sillä se on rajoittunut lähinnä vain jonkin taloudellista tulosta osoittavan suureen esittämiseen kussakin yksittäisessä tapauksessa. Kun mm. ruokintaan soveltuvien rehuaineiden lukumäärä on suuri, ei yksin tältä pohjalta ole löydettävissä yleistä tuotannon optimointiin soveltuvaa ratkaisua vaihtuvissa hintatilanteissa.

1.2. Tutkimustehtävän määrittely

Rationaalisessa tuotantotoiminnassa pyritään yleensä maksimoimaan rahassa mitattu nettotulos, mikä tapahtuu resurssien taloudellisesti optimaalisella hyväksikäytöllä. Naudanlihan tuotannossa tavoitteeksi voidaan asettaa se, että tuoton ja kustannusten välinen erotus muodostuu mahdollisimman suureksi. Saavuttaakseen tämän tavoitteen lihan tuottajan on ratkaistava joukko kysymyksiä, jotka voitaneen kiteyttää seuraaviin pääkohtiin:

1. On ratkaistava tuotannon intensiteettiaste sovittamalla ruokinta ja yleensä hoito niin, että kasvu tapahtuu optiminopeudella. Näin voidaan vaikuttaa kasvatuksen kokonaiskestoaikaan ja sitä kautta elatukseen kuluvan rehun määrään.
2. Edellä olevaan liittyy taloudellisesti edullisimman panoskombinaation lähinnä rehuyhdistelmän muodostaminen, jossa myös ruokintatekniset näkökohdat otetaan huomioon.
3. On ratkaistava, miten pitkälle tuotoskäyrällä edetään ts. mikä on eläimen optimaalinen myyntipaino tai -ajankohta. Tähän vaikuttaa mm. kulloinenkin lihan ja rehujen hintatilanne.

Edellä esitettyihin pääkohtiin liittyvistä osatekijöistä mainittakoon lihan laatu, joka liittyy paitsi ruokinnallisiin seikkoihin myös eläimen kehitysasteeseen ja joka ratkaisevasti voi vaikuttaa tuotannon optimin määräytymiseen. On myös ilmeistä, että ratkaisut ovat erilaisia esim. rodusta, sukupuolesta ja yleensä eläinaineksen ominaisuuksiin liittyvistä tekijöistä riippuen.

Tuotannon yksityistaloudellinen optimointi vaatii tietyt perustiedot. Näistä voidaan tärkeimpänä pitää tuotantopanosten, lähinnä rehujen tuotantovaikutuksen tuntemista, koska rehu muodostaa suurimman erän muuttuvista kustannuksista, joista tuotannon optimitaso viimekädessä riippuu. Ruokintaan soveltuvien rehuaineiden monilukuisuudesta sekä niiden laadun vaihteluista johtuen on käytännössä mahdollista muodostaa varsin monia rehuyhdistelmiä. Joidenkin rehujen tai rehuyhdistelmien tuotantovaikutuksen selvittäminen antaa siten

vain tiettyä tapausta koskevan osaratkaisun. Tuotantopanoksen ja tuotoksen välisen riippuvuussuhteen tulisikin olla sellaisessa muodossa, että se on riittävän yleispätevä kuvaamaan monin eri tavoin kokoonpantujen rehuyhdistelmien tuotantovaikutusta. Tällaisen riippuvuussuhteen tunteminen laajentaisi mahdollisuuksia taloudellisesti edullisten rehuyhdistelmien muodostamiseen sekä tuotannon optimoimiseen käytettävissä olevilla rehuvaroilla vaihtuvissa hintatilanteissa.

Tällaisen yleistävän panos-tuotos suhteen estimointi on asetettu tämän tutkimuksen tavoitteeksi. Maassamme tehtyjä naudan kasvatuskokeita koordinoimalla pyritään koetulokset saattamaan muotoon, joka osaltaan voisi toimia pohjana lihantuotannon yksityistaloudellisessa päätöksenteossa. On kuitenkin syytä korostaa, että tutkimus ei pyri muodostamaan rehujen ja tuotoksen välisiä esim. ruokintanormeihin rinnastettavia riippuvuuskertoimia, vaikka ongelman ratkaisussa pyritään etenemään todellista tuotantoprosessia seuraten. Tuotantopanoksen-tuotos suhdetta tarkastellaan tässä tutkimuksessa lähinnä taloudelliselta kannalta. Jo tutkimusta suunniteltaessa voitiin myös todeta, että biologisen tuotantotapahtuman ja käytännön tarpeiden yhteensovittaminen tulee johtamaan jossain määrin sovinnaisiin ratkaisuihin.

2. Katsaus aihetta koskevaan aikaisempaan tutkimustyöhön

Karjatalouden eri aloilla suoritetun tutkimustyön suuri määrä kuvastaa paitsi karjatalouden merkitystä alkutuotannon osana myös tähän tuotantotoimintaan liittyvän ongelmakentän laajuutta. Yksinomaan nautakarjatalouden ekonomiaa käsittelevää kirjallisuutta on julkaistu varsin paljon. Tästä syystä seuraavassa onkin mahdollista puuttua vain käsiteltävänä olevaa aihetta aivan läheltä sivuaviin tutkimuksiin ja niistäkin sellaisiin, jotka lähinnä tutkimusmenetelmien kannalta ovat huomionarvoisia. Lienee kuitenkin paikallaan mainita myös eräitä maidontuotannon ekonomiaa käsitteleviä varhaisempia tutkimuksia, koska ne ovat osittain tarjonneet lähtökohdan vasta myöhemmin esille tulleiden naudanlihan tuotannon taloudellisten kysymysten selvittelylle.

Tekninen tutkimus kohdistui aluksi rehujen tuotantovaikutuksen selvittämiseen (esim. THAER, 1809) ja tätä tietä ruokintanormien kehittämiseen. Sen tarjoamaa perusaineistoa käytettiin aluksi varsin vähän hyväksi maidon- tai lihantuotannon taloudellisten kysymysten tutkimisessa. Varhaisemmissa rehupanoksen ja maitotuotoksen välistä riippuvuussuhdetta selvittelevissä tutkimuksissa (esim. EZEKIEL et.al. 1927, JOHNSON et.al. 1932, TOLLEY et.al.1924) käytettiin suoraan tiloilta sekä kirjanpitoaineiston pohjalta saatua tietoa maitotuotos- ja rehunkäyttömääristä. Suhteellisen heterogeenisistä keskiarvotiedoista johtuen tulokset eri tutkimuksista olivat osittain ristiriitaisia. Tämäntyyppisessä aineistossa myös panostason vaihtelualue jäi varsin suppeaksi, minkä vuoksi tulokset lienevät käyttökelpoisia vain lähellä keskiarvotasoa. Panos-tuotos suhteita maidontuotannosta koskevista tutkimuksista on syytä mainita erityisesti JENSENin et.al. (1942) laatima selvitys, joka perustui varta vasten järjestettyihin ruokintakokeisiin. Aineiston muodosti 346 lehmää 3 vuoden aikana. Niiden tuotos ja rehunkäyttö mitattiin päivittäin, minkä lisäksi otettiin huomioon mm. rehujen laatu ja lehmien painonmuutokset. Koe oli jaettu kymmenelle koeasemalle, joista kullakin noudatettiin useita ruokintatasoja. Rehun energiamäärä ilmaistiin TDN-yksikköinä¹⁾. Tutkimuksella pyrittiin lähinnä selvittä-

¹⁾ TDN (Total Digestible Nutrients) on lähinnä Yhdysvalloissa käytössä oleva rehuarvon mitta.

mään ruokinnan intensiivisyyden vaikutusta maitotuotokseen. Eräs tärkeimmistä havainnoista oli vähenevän tuotoksen lain esiintyminen, jolloin rehupanosta kohotettaessa saavutettiin kullakin lisäyksellä yhä pienempi lisätuotos. Niinpä koekarjojen keskituotos oli korkeimmilla ruokintatasoilla 15-20 % suurempi kuin vertailutasolla käytetyillä Haeckerin ruokintanormeilla saavutettu maitotuotos sekä 45 % suurempi verrattuna tasoon, joka oli 70-80 % normien edellyttämästä rehuntarpeesta. Tutkimuksessa on tarkasteltu edelleen edullisinta ruokintatasoa saavutettujen tulosten sekä maidon- ja rehun hintasuhteiden valossa.

Naudanlihan tuotannon mikrotaloudellisiin kysymyksiin on kiinnitetty huomiota lähinnä vasta toisen maailmansodan jälkeen. Naudanlihan kysynnän kasvaessa sen tuotanto alkoi muotoutua entistä enemmän maidontuotannosta erillään olevaksi tuotannonalaksi, mikä lisäsi tutkimustarvetta. Tutkimusmenetelmien kehittyminen ja erityisesti matemaattisten menetelmien sovellutukset ovat sittemmin tarjonneet entistä parempia mahdollisuuksia tutkimuskentän laajentamiseen ja syventämiseen.

Erään vanhimmista naudanlihan tuotantofunktioanalyseistä on laatinut NELSON 1945 (ref. HEADY 1952, s.72). Tutkimuksella pyrittiin selvittämään tuotoksen riippuvuutta rehumäärästä (TDN-yksikköinä) kolmea ikäluokkaa edustavilla eläimillä. Spillman-tyyppinen tuotantofunktio

$$Y = m - Ae^{-rX} \quad 1)$$

estimoitiin erikseen vasikoille sekä 1 vuoden ja 2 vuoden ikäisille härille. Voitiin todeta, että rehun hyväksikäyttökyky elopainon tuotosten määrällä mitattuna oli sitä parempi mitä nuoremasta eläinryhmästä oli kysymys. Tuotoksen ilmaiseminen kaloreina johti kuitenkin merkitsevästi päinvastaiseen tulokseen, sillä nuorilla eläimillä kasvu on suurelta osin luuston ja muiden ravinnoksi kelpaamattomien osien kasvua, vanhemmilla taas valkuaisen ja rasvan muodostumista. Rehupanoksen rajatuottavuuden todettiin kuitenkin alenevan vanhoilla eläimillä jyrkemmin kuin nuorilla, koska rehuntarve kasvaa kiihtyen iän ja painon lisääntyessä.

1) Funktiossa m = saavutettavissa oleva maksimi kokonaistuotos
 A = tuotantopanoksen X käytöllä aikaansaatava tuotosten määrä
 e = luonnollisen logaritmijärjestelmän kantaluku
 r = vakio

PLAXICO et.al. 1959 (ref. OECD 1968, s.61) pyrki vuoden kestäneiden kasvatuskokeiden avulla selvittämään väkirehun ja karkearehun välistä rajakorvaussuhdetta sekä tuotantovaikutusta sonni- ja hiehovasikoilla. Tutkimuksen eräänä tarkoituksena oli antaa suuntaviivoja kokeiden suunnittelulle ja analysoinnille taloudellisten päätöksentekomallien estimoimiseksi lihantuottajien käyttöön. Tutkimuksessa käytettiin neljää ennalta määrättyä ruokintatasoa. Eläinten painonlisäys ja rehunkäyttö mitattiin kuukausittain. Useista estimoituista funktiomuodoista osoittautui soveliaimmaksi COBB-DOUGLAS tyyppinen yhtälö

$$Y = b_0 X_1^{b_1} X_2^{b_2}.$$

Käytetty koeaineisto ei kuitenkaan osoittautunut riittäväksi optimaalisen rehukombinaation määrittämiseen, vaikka käytettyjen rehunaisten rajakorvaussuhteessa todettiin merkittäviä eroja sonni- ja hiehovasikoiden välillä.

Iowassa 25 vuoden aikana suoritettujen lihankasvatuskokeiden avulla pyrkivät HEADY ja DILLON (1961, ss.452-475) selvittämään tuotomäärän riippuvuutta rehupanoksesta. Panosmuuttujina tutkimuksessa käytettiin maissia, sinimailasheinää sekä valkuaislisärehua, joista edelliset ilmaistiin painoyksikköinä sekä viimeainittu sulavana valkuaisena. Tuotantopanosten ilmaisutapa ei ottanut huomioon mm. rehujen mahdollisia laatuvaihteluita. Koe-eläinten alkupaino oli keskimäärin n. 180 kg, joten funktio ei peittänyt tuotantokauden alkuvaihetta. Ehkä huomionarvoisinta tutkimuksessa onkin se, että myös lihantuotannon dynaaminen luonne, ajan mukanaolo tuotantoprosessissa, otettiin huomioon.

Tutkimus jatkui vv. 1957-59 tarkoitusta varten suoritettujen kokeiden tulosten pohjalta (HEADY et.al.1963). Tavoitteena oli estimoida lihan tuotantofunktiot, kun rehupanos koostuu laidunrehusta ja maissista sekä tutkia tämän jälkeen rehujen rajakorvaussuhteita. Edelleen pyrittiin selvittämään seossuhteen muutosten vaikutus kasvunopeuteen ja lihan laatuun. Koejakson pituus kunakin vuonna vaihteli laidunkauden pituudesta riippuen 132-144 päivään. Eläimet olivat keskimäärin n. 385 kg painoisia härkiä. Niiden kasvua selittävät muuttujat olivat maissi ja laidunrehu painoyksikköinä sekä lämpötila. Rinnakkaiskokeissa käytettiin lisäksi kasvua edistävää hormonival-

mistetta (stilbestrol). Lihan laadun määrittely perustui kokeen kestäessä tehtyihin havaintoihin. Tässä tutkimuksessa kuten edellisessäkin (HEADY ja DILLON 1961) toisen asteen polynomi osoittautui sopivimmaksi funktiomuodoksi. Estimoitujen riippuvuussuhteiden avulla tutkittiin tiettyjen hintasuhteiden vallitessa taloudellista lopputulosta rehujen seossuhteen ja kasvunopeuden funktiona. Tutkimus muodostaa erään pisimmälle viedyistä ja metodisesti huomattavimmista naudanlihan tuotantofunktioanalyseistä, joskin se rajoittui vain kahden rehuaineen tuotantovaikutuksen selvittämiseen suhteellisen lyhyeltä tuotantojaksolta.

Keski-Euroopassa suoritetuissa aihetta koskevista tutkimuksista on mainittava ensinnäkin WOERMANN (1933), joka taloudellisia laskelmia silmälläpitäen pyrki kokeellisesti määrittämään naudanlihan tuotannon energiantarvetta. Koetulosten perusteella todettiin mm., että elopainon kohottaminen 8 kk:n aikana 200 kg:sta 450-500 kg:aan vaati yhtä lisäkasvikiloa kohti 3 800 tärkkelysarvoyksikköä. JÜNGEHÜLSING (1959) pyrki selvittämään energiantarvetta lisäkasvikiloa kohti eläimen painon funktiona sekä lihantuotannon kustannusten suhtautumista kasvatusajan pituuteen ja tähän liittyen edullisinta kasvatusaikaa. Tekijä on lähtenyt liikkeelle kirjallisuudessa esitetyistä rehunkäyttönormeista laskemalla niistä keskimääräisen "normaalitarpeen" lisäkasvikiloa kohti. Tutkimus on sovellettu rehuntuotannon suhteen omavaraisille tiloille selvittämällä näillä em. normaalitarpeeseen nojautuen rehukustannuksen suuruutta tuottoon nähden sekä tarkoituksenmukaista kasvatuksen kestoaikaa.

VOGEL (1965a) toteaa, että useimmissa aihetta koskevissa tutkimuksissa rajoitutaan selvittelemään rehun tuotantovaikutusta vain tiettyä ikä- tai painoluokkaa edustavilla eläimillä, jolloin tulokset ovat käyttökelpoisia vain tietyn tuotantotekniikan vallitessa. Tästä syystä tekijä on pyrkinyt estimoimaan elopainon funktiona ns. liukuvat energianormit, joihin nojautuen voidaan tutkia optimaalista rehukoostumusta ja ruokinnan intensiteettiä. Energiantarvetta tutkittiin erikseen ylläpidossa ja tuotannossa. Aikatekijä otettiin huomioon estimoimalla energiantarve päivää kohti elopainon (X) funktiona. Koetulosten perusteella päivittäisen ylläpitoenergian (Y_1) tarve tärkkelysyksikköinä voitiin määritellä yhtälöllä

$$Y_1 = 571.302 + 5.478 X - 0.0019 X^2$$

Päivittäisen lisäkasvukilon tuottamiseen tarvittavan energian määrä (Y_2) muodostui elopainon funktiona yhtälöstä

$$Y_2 = 2024.62 - 14.493 X + 0.055 X^2 - 0.0000428 X^3,$$

jolloin kilon päivätuotoksen edellyttämäksi kokonaistarpeeksi muodostui $Y_1 + Y_2$ tarkekelyyksikköä. Menetelmän eräänä puutteena, kuten tekijäkin (s.44) mainitsee, on lineaariseksi muodostuva suhde tuotoksen ja tuotantorehun tarpeen välillä. Siten esim. 0.5 kg päivittäinen lisäkasvu edellyttäisi energiaa yhteensä $Y_1 + 0.5$ ja 1.2 kg kasvu vastaavasti $Y_1 + 1.2 Y_2$ tarkekelyyksikköä. Menetelmää voidaan kritisoida edelleen myös siinä, että tuotostmäärä, joka on tuotantopanosten funktio, joudutaan käsittelemään ennalta määräytyneenä muuttujana. Jatkotutkimuksessaan (1965b, ss.96-102) VOGEL on tarkastellut lähemmin lihantuotannon taloudellisia kysymyksiä estimoitujen funktioiden avulla tietyissä hintatilanteissa.

Myös Iso-Britanniassa on 1960-luvulla laadittu naudanlihan tuotantofunktioita käsitteleviä tutkimuksia, jotka eivät kuitenkaan suuresti poikkea edellä mainituista amerikkalaisista tutkimuksista. Tuotostmäärää selittävinä muuttujina on käytetty eräissä tutkimuksissa väkirehua, eräissä mm. viljaa ja säilörehua (esim. OECD 1968, ss. 63-75 sekä WRAGG 1971, ss.1-11). Panosmuuttujat on ilmaistu useimpien painoyksikköinä, joten rehujen laadun vaikutus tuotostmäärään jää täällöin selvittämättä. Mainitut tutkimukset perustuivat osittain muita tarkoituksia varten tehtyihin kasvatuskokeisiin.

Pohjoismaissa naudanlihan panos-tuotossuhteen tutkiminen on aloitettu verraten myöhään. Tanskassa nautakarjatalouden ekonominen tutkimustyö on kohdistunut ensisijaisesti maidontuotantoon (esim. OECD 1964, ANDERSEN 1971). Ruotsissa puolestaan on lähdetty liikkeelle hieman toiselta pohjalta pyrkimällä soveltamaan koetoiminnan antamia tuloksia suoraan käytäntöön (VIKTORSSON ja JOHANSSON 1971, ss. 1-20, JOHANSSON 1969, ss.31-34). Menetelmä, jota pyritään kehittämään taloudellista päätöksentekoa varten sekä maidon- että lihantuotannossa, perustuu koetoiminnasta saatuihin tuloksiin keskituotoksista ja rehunkäytöstä. Näiden pohjalta on muodostettu tilastollinen mallijoukko mm. päivittäisestä energian, valkuaisen, hivenaineiden sekä raakakuidun ja kuiva-aineen minimi/maksimimäärästä elopainon ja halutun suuruisen päivittäisen lisäkasvun funktiona. Mallit on sisäl-

lytetty tietokoneohjelmaan, joka suoraan tiloilta saatavien rehujen määriä, laatua ja hintoja koskevien tietojen pohjalta minimoi rehu-kustannuksen. Menetelmä on edelleen kehittelyn alaisena, mutta näyttää ilmeiseltä, että käytännön lihantuotannossa esiintyviin kysymyksiin voidaan sen avulla löytää ratkaisuja entistä helpommin.

Pohjoismaissa on tehty lisäksi eräitä panos-tuotossuhteita kotieläintaloudessa koskevia tutkimuksia (esim. HJELM 1954), joissa naudanlihan tuotanto ei ole suoranaisesti ollut selvityksen kohteena mutta jotka lähinnä käytettyjen menetelmien vuoksi ovat mielenkiintoisia mm. tämän tutkimuksen kannalta. Vastaavan tyyppisistä maassamme suoritetuista tutkimuksista on syytä mainita TORVELAN (1959) selvitys kanatalouden alalta.

3. Tuotantopanoksen ja tuotoksen välinen suhde

3.1. Tuotantofunktion peruskäsitteistä

Tuotoksen ja tuotantopanosten väliseen riippuvuussuhteeseen liittyvät analyysit muodostavat tämän tutkimuksen sovellutuksissa keskeisen osan. Tästä syystä on katsottu tarkoituksenmukaiseksi tuoda esiin tärkeimmät tuotantofunktioon ja sen käyttöön liittyvät käsitteet, vaikka aihetta onkin varsin paljon käsitelty mm. maatalouden taloustutkimusta koskettelevassa kirjallisuudessa. Näiltä osin viitataan mm. seuraaviin teoksiin ja tutkimuksiin: HEADY 1952, ss. 28-51, 90-112, BISHOP, TOUSSAINT 1958, ss.38-79, KETTUNEN 1966, ss. 9-19, RYYNÄNEN 1970, TORVELA 1966 sekä KETTUNEN, TORVELA 1970.

Tuotantofunktio määritellään tuotoksen riippuvuutena käytetyistä tuotantopanoksista. Matemaattisesti tämä voidaan ilmaista muodossa

$$(1) \quad Y = f(X_i) + u, \text{ jossa}$$

Y = tuotos

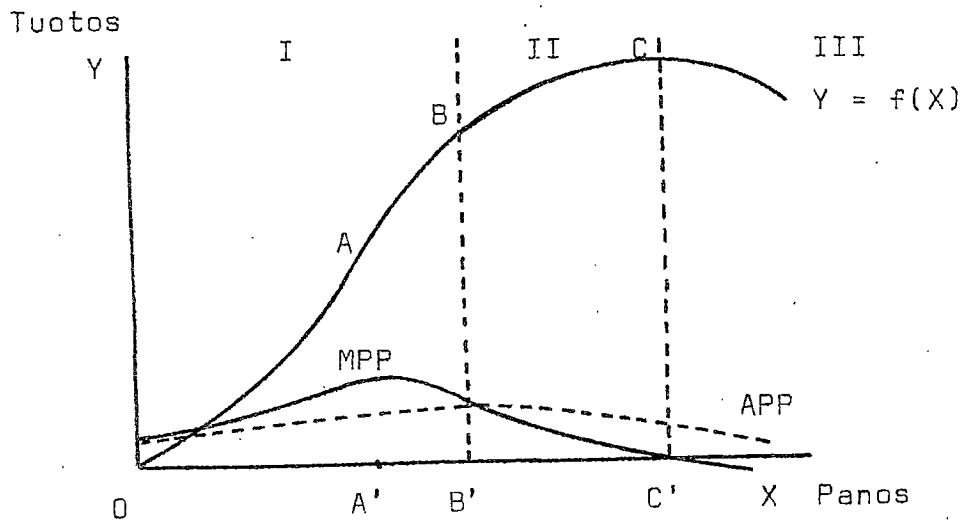
X_i = tuotantopanokset

u = virhetermi

Jotta tuotantofunktio kuvaisi mahdollisimman hyvin tuotantotapah-
tumaa, sen tulisi sisältää kaikki tuotokseen vaikuttavat panosteki-
jät. Kaikkien tuotannontekijäin huomioonottaminen ei käytännössä
ole kuitenkaan aina mahdollista, jolloin niiden vaikutus sisältyy
funktion selvittämättä jääneeseen osaan.

Kuviossa 1 on esitetty eräs yleinen tuotantofunktio, jossa
tuotospäämäärä Y riippuu käytetyn tuotantopanoksen X määrästä. Lisät-
täessä panosta X tuotos kasvaa aluksi kiihtyen kunnes panospäämäärän
 A' jälkeen tuotoksen kasvu alkaa hidastua. Suurin tuotos saavute-
taan panospäämäärällä C' , jonka jälkeen panoksen lisäys vaikuttaa
tuotosta alentavasti.

Kuvio 1. Tuotantofunktio $Y = f(X)$



Rajatuotoskäyrä¹⁾ MPP kuvaa panoksen lisäyksellä saavutettavaa tuotoksen lisäystä kullakin panostasolla. Rajatuotoskäyrän määrittelee tuotantofunktion 1. derivaatta panoksen suhteen, eli

(2)

$$MPP = \frac{dY}{dX}$$

Kohoava rajatuotos esiintyy silloin kun jokainen tuotantopanoksen lisäys lisää tuotosta enemmän kuin edellinen, jolloin tuotoskäyrä kasvaa kiihtyen. Kun jokaisella panoksen lisäyksellä saavutetaan yhä pienempi tuotoksen lisäys on rajatuotos aleneva. Suurin rajatuotos saavutetaan tuotoskäyrän käännepisteessä A panosmäärällä A'. Tuotoksen maksimikohdassa rajatuotos = 0.

Keskimääräinen tuotos APP osoittaa kokonaistuotosta panosyksikköä kohden kullakin tuotantopanostasolla. Sen määrittelee yhtälö

(3)

$$APP = \frac{Y}{X}$$

¹⁾ Kysymys on differentiaalirajatuotoksesta. Käytännössä joudutaan tekemisiin mitattavissa olevien suureiden kanssa, jolloin kyse on differenssirajatuotoksesta, josta käytetään nimitystä erotustuotos (vrt. DEN LANTBRUKSEKONOMISKA TERMINOLOGIEN 1967). Käytännössä tätä eroa ei yleensä tehdä. Esim. englanninkielistä termiä "Marginal Product" käytetään kuvaamaan sekä rajatuotosta että erotustuotosta.

Kun tuotantopanosta lisätään, keskimääräinen tuotos kohoaa, mikäli $MPP > APP$. Kohdassa, jossa panoksen lisäys ei vaikuta keskimääräisen tuotoksen suuruuteen, $MPP = APP$ ja APP on tällöin maksimissaan. Kuviossa panosyksikön aikaansaama maksimituotos sijaitsee tuotoskäyrän pisteessä B. Lisättäessä tuotantopanosta määrän B' yli keskimääräinen tuotos alenee, koska $MPP < APP$.

Kuviossa 1 esitetty tuotoskäyrä on rajatuotosta ja keskimääräistä tuotosta osoittavien käyrien perusteella jaettu kolmeen toiminta-asteeseen. Alueella I keskimääräinen tuotos kohoaa ja saavuttaa maksimin tuotostasolla B. Toiminta tämän tuotostason alapuolella on ilmeisen epätaloudellista, koska tuotantopanosta lisättäessä sen keskimääräinen tuottavuus jatkuvasti kasvaa. Toiminta vähenevän tuotoksen alueella III ei myöskään ole rationaalista, koska rajatuottavuus muodostuu negatiiviseksi. Tuotannon taloudellinen optimi on siten löydettävissä alueelta II, jolla sen sijaintiin vaikuttavat mm. tuotteen ja tuotantopanosten hinnat.

3.2. Tuotto- ja kustannusfunktiot

Fyysisestä tuotantofunktioista saatavat perustiedot tarjoavat lähtökohdan tuotantotoiminnasta saatavan taloudellisen tuloksen maksimointiin. Tuotantopanosten ja tuotteen hinnoilla, ts. niiden hintasuhteilla on ratkaiseva vaikutus siihen, millä tuotannon tasolla tämä tavoite saavutetaan.

Tuotantotoiminnasta aiheutuvat kustannukset voidaan jakaa kahteen pääryhmään sen mukaan, miten ne suhtautuvat tuotantoon. Kiinteitä ovat sellaiset kustannukset, joiden suuruus on riippumaton tuotoksen tasosta (MELLEROWITCZ 1951, s.23). Tällaisia kustannuksia, jotka rasittavat tuotantoa sen tasosta riippumatta sanotaan myös peruskustannuksiksi (vrt. myös esim. MÄKI 1964, s.272). Muuttuvat kustannukset ovat tuotantotoimintaan suoranaisesti liittyviä kustannuksia, joiden suuruus vaihtelee tuotospäärän mukaan. Muuttuvia ovat siten esim. tuotantopanoksista aiheutuvat välittömät kustan-

nukset. Muuttuvien kustannusten ryhmään on luettava myös ns. välilliset kustannukset, joita tuotoksen lisäyksestä välillisesti aiheutuu (MÄKI 1964, HEADY 1952, s.317). Muuttuvilla kustannuksilla on olennainen merkitys tuotannon optimitason määräytymisessä.

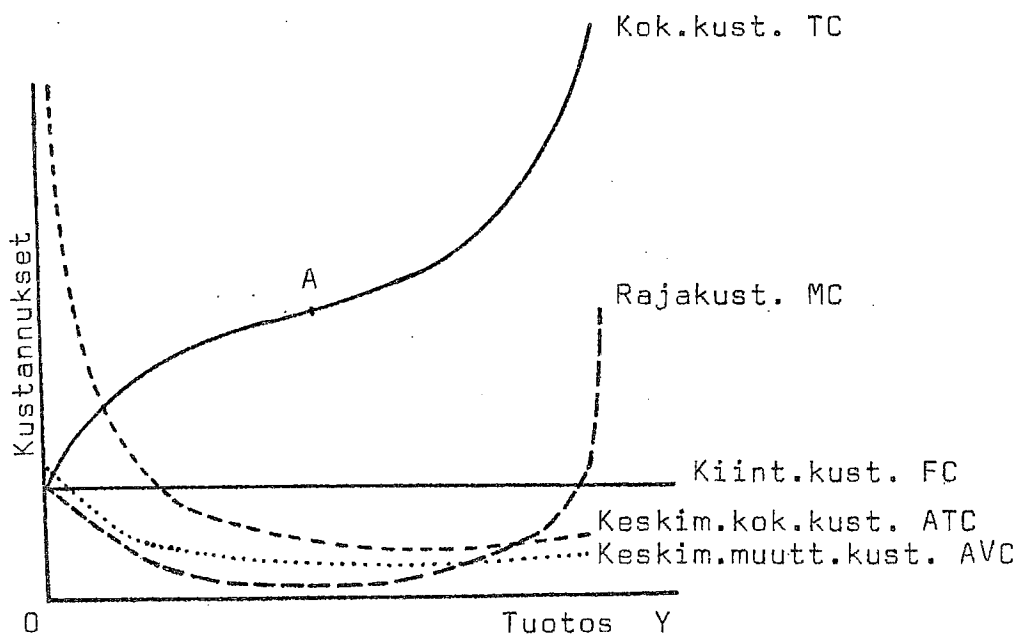
Kun tuotantofunktioon liitetään tuotteen yksikköhinta (P_y), on kysymyksessä tuottofunktio, jossa keskimääräinen tuotto ja rajatuotto ovat seuraavat:

$$\text{keskimääräinen tuotto} = P_y \frac{Y}{X}$$

$$\text{rajatuotto} = P_y \frac{dY}{dX}$$

Kustannusfunktio muodostuu hinnoittelemalla tuotantopanokset niiden yksikköhinnoilla. Edellä (kuvio 1) tarkasteltua tuotantofunktiota vastaava kustannusfunktio on esitetty kuviossa 2. Tuotoksen kohotessa kokonaiskustannukset (kiinteät + muuttuvat kustannukset) lisääntyvät aluksi hidastuen ja käännepisteen A jälkeen kiihtyen.

Kuvio 2. Tuotantofunktiosta $Y = f(X)$ johdettu kustannusfunktio



Kustannusfunktion perusteella voidaan tutkia kustannusten muutoksia tuoteyksikköä kohti samaan tapaan kuin tuotanto- ja tuottofunktion yhteydessä tuotoksen ja tuoton muutoksia panosyksikköä kohti. Keskimääräiset kokonaiskustannukset $\frac{TC}{Y}$, joita kuviossa 2 esittää käyrä ATC, osoittavat tuoteyksikön kokonaiskustannusta kullakin tuotostasolla. Keskimääräiset muuttuvat kustannukset (AVC) saadaan vastaavasti vähentämällä kokonaiskustannuksista kiinteät kustannukset, jolloin $AVC = \frac{TC-FC}{Y}$. Koska muuttuvat kustannukset aiheutuvat tuotantopanoksista X eli ovat $= P_x \cdot X$, saadaan, että $AVC = \frac{P_x \cdot X}{Y}$. Alhaisella tuotostasolla keskimääräiset kokonaiskustannukset ovat korkeat, koska kiinteät kustannukset rasittavat suhteellisen pientä tuotost määrää. Tuotostason kohotessa ne alenevat ja lähenevät keskimääräisiä muuttuvia kustannuksia.

Kustannusfunktion derivaattaa $P_x \cdot \frac{dX}{dY}$, eli tuotoksen lisäyksen vaatimaa kustannusten lisäystä osoittaa rajakustannuskäyrä MC kuviossa 2. Rajakustannusten suuruuteen vaikuttavat vain tuotoksen kohottamisesta aiheutuvat muuttuvat kustannukset. Rajakustannukset alenevat, kun tuotantopanosten rajatuottavuus kohoaa ts. kun kustannuskäyrä nousee hidastuen. Alenevan rajatuottavuuden alueella, joka kustannuskäyrällä alkaa käännepisteestä A, rajakustannukset alkavat kohota. Pisteessä A rajakustannukset ovat minimissä.

Tuotantofunktiosta johdettujen tuotto- ja kustannusfunktion avulla on mahdollista selvittää tuotantotoiminnan optimiaste. Optimi toiminta-asteen määrää lyhyellä tähtäimellä se tuotostaso, jossa kokonaistuoton ja -kustannusten erotus $(P_y \times Y) - (P_x \times X)$ on maksimissa. Tuotannon kohottaminen on kannattavaa niin kauan kuin panosten lisäyksellä alkaensaadun tuotoksen lisäyksen raha-arvo on suurempi kuin mainittujen panoslisäysten arvo.

Jos panosten lisäystä merkitään ΔX ja vastaavaa tuotoksen lisäystä ΔY sekä panoksen ja tuotoksen yksikköhintoja P_x ja P_y , saavutetaan tuotannossa optimi, kun lisäysten arvot ovat yhtä suuret ts. kun

$$\frac{P_y \Delta Y}{P_x \Delta X} = 1$$

Lauseke voidaan edelleen kirjoittaa muotoon

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{P_x}{P_y}, \text{ jossa } \frac{\Delta Y}{\Delta X} \text{ on rajatuotos.}$$

Optimikohdassa rajatuotos on siten = panoksen ja tuotoksen yksikköhintojen suhde.

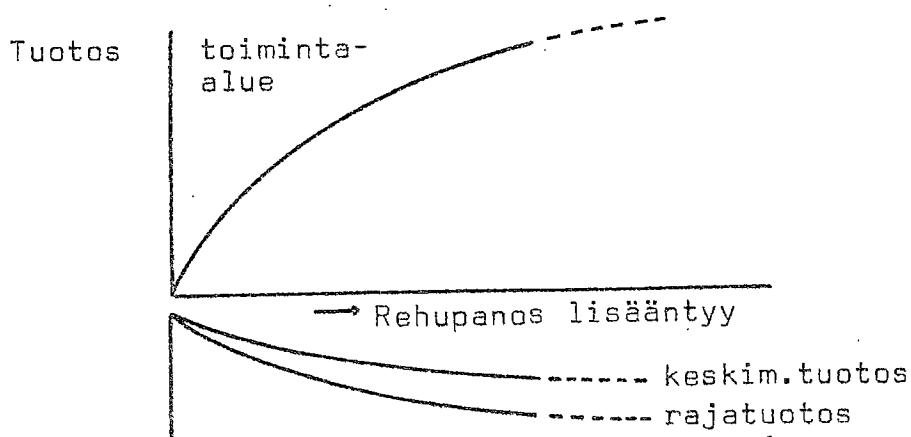
3.3. Tuotantofunktio naudanlihan tuotannossa

3.3.1. Tuotantofunktion luonne

Biologisena tapahtumana naudanlihan tuotantofunktio kuvaa tuotoksen ja käytettyjen tuotantopanosten välistä riippuvuutta. Primäärisen tuotantopanoksen muodostavat ruokintaan käytettävät rehut. Tuotokseen vaikuttavista muista tekijöistä osa on ulkoisia, usein ainakin osittain säädeltäviä kuten esim. lämpötila, osa taas geneettisiä joko eläimen yksilöllisistä ominaisuuksista johtuvia tai laajempien ryhmien puitteissa esiintyviä tekijöitä. Erilaiset perinnölliset tekijät, vaikkakaan eivät ole varsinaisiin tuotantopanoksiin rinnastettavia, ovat siten vaikuttamassa tuotoksen muodostumiseen. Niiden huomioon ottaminen on osittain mahdollista niin, että tuotantofunktiot estimoidaan erikseen tietyille homogeenisille ryhmille, roduille, risteytyksille, eri sukupuolille jne. Näin voidaan eliminoida osa tekijöistä, jotka eivät yleensä ole mitattavissa. Ulkoisten ja eläimen yksilöllisten tekijöiden vaikutus voi kuitenkin jäädä funktion selittämättä jääneeseen osaan, koska näidenkin indikoimiseen liittyy tiettyjä vaikeuksia.

Jättämällä yksinkertaisuuden vuoksi aika tarkastelun ulkopuolelle ja olettamalla muut tekijät vakioiksi voidaan tuotoksen ja rehun kokonaismäärän välinen suhde esittää kuvion 3 mukaisena kääntäenä tuotoskäyränä.

Kuvio 3. Tuotos rehumäärän funktiona naudanlihan tuotannossa



Eläimen syömä rehuannos ei kokonaisuudessaan tule käytetyksi tuotantoon, sillä osa siitä kuuluu eläimen ylläpitoon. Tämän ns. elatusrehun tarpeen suuruus riippuu monista tekijöistä mm. eläimen koosta, ympäristön lämpötilasta jne. Koska elatusrehu osallistuu vain välillisesti tuotoksen aikaansaamiseen, olisi teoreettisesti oikea tapa käyttää panoksena vain tuotantoon käytettävissä olevaa osaa rehun määrästä, jolloin elatusrehun määrä jää rasittamaan tuotantoa kiinteänä kustannuseränä. Käytännöllisistä syistä tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista eikä välttämätöntäkään siinä tapauksessa, että rehua annetaan yli elatukseen kuluvan määrän. Elatusrehun tarve muodostaa tällöin rehupanoksen 0-tason. Naudanlihan tuotantofunktioita käsittelevissä tutkimuksissa on käytetty kumpakin menetelmää (vrt. esim. VOGEL 1965, s.39).

Kuviossa 3. tuotos on esitetty rehun kokonaismäärän funktiona. Lisättäessä rehupanosta rehun rajatuottavuus alenee osittain eläimen luonnollisen kasvukyvyn heikkenemisestä johtuen ja osittain siitä syystä, että eläimen painon lisääntyessä myös elatusrehun tarve lisääntyy ja vaatii tuoteyksikköä kohti yhä kasvavaa rehumäärää. Tuotoskäyrä nousee tästä syystä hidastuen ja saavuttaa maksimin kohdassa, jossa eläimen kasvutaipumus on kokonaisuudessaan käytetty hyväksi. Rehun rajatuottavuus on tällä kohdalla = 0. Tyypillinen toiminta-alue ei yleensä ulotu käyrän teoreettiseen maksimikohtaan. Kohoavan rajatuottavuuden esiintyminen on yleensä mahdollista vain ruokinnan intensiteettiä vaihdeltaessa. Mm. HEADY 1952 (s.65) mainitsee, että rehuannosta lisättäessä yli elatuksen vaatiman minimitarpeen voi rehun rajatuottavuus kasvaa. Tuotoskäyrä nousee tällöin kiihtyen.

Naudanlihan tuotannossa esiintyvien näennäisesti selvien riippuvuussuhteiden esittämistä häiritsevät eräät kotieläintuotannolle ominaiset erikoispiirteet. Panos-tuotos suhteen esittämisen kannalta keskeinen kysymys on se, että tuotos samoin kuin rehupanoskaan eivät ole ilmaistavissa yksikäsitteisesti. Fyysiseen tuotantofunktioon perustuvilla analyyseillä on myös eduksi, että tuotos ja tuotantopanokset on ilmaistu yksikköinä, jotka ovat hinnoiteltavissa.

Tuotospäärä voidaan yksityiskohtaisimmin mitata elopainon muutoksilla. Rahassa mitattu tuotto määrytyy kuitenkin ns. teuraspainon mukaan, jonka osuus elopainosta saattaa vaihdella mm. iän ja ruokinnallisten tekijöiden vaikutuksesta. Teuraspainona ilmaistu tuotos ei sekään ole riittävä mittayksikkö, koska yksikköhintaan vaikuttava tuotoksen laatu ei tule siinä näkyviin. Lihan laatuun puolestaan vaikuttavat mm. perinnölliset ominaisuudet, ruokinta ja eläimen kehitysaste. Jos tuotoksen määrittelyssä lähdetään liikkeelle yksiköstä, jonka laatu voidaan ilmaista ja joka voidaan hinnoitella, tulisi teuraspainotuotoksen (tai elopainotuotoksen ja elopaino/teuraspaino suhteen) lisäksi voida määrittellä myös tuotteen laadun riippuvuus tuotantopanoksista. Yhtenäisimmän tuotoksen mitta-yksikön tarjoaisi ilmeisesti tuotteen energiasisältö, jota mm. NELSON (1945) on tutkimuksessaan käyttänyt. Teoreettisesta sopivuudesta huolimatta se ei kuitenkaan tarjoa vaihtoehtoa, joka tässä tutkimuksessa soveltuisi tuotoksen mittaamiseen.

Tuotantopanoksen ilmaiseminen on toinen varsin keskeinen ongelma, jonka ratkaisemisella on vaikutusta estimoitavien riippuvuus-suhteiden käyttökelpoisuuteen. Ongelman merkitys tulee esille, kun tarkastellaan niitä kysymyksiä, joihin tuotantofunktion avulla olisi kyettävä löytämään ratkaisuja. JOHANSSONin (1969, s.31) mukaan nautanlihan tuotantofunktion tulisi tarjota perustiedot, joilla voidaan ratkaista

1. millaista ruokinnan intensiteettiä tulisi soveltaa?
2. mitä rehuaineita tulisi sisällyttää rehuyhdistelmään ja minkälaisissa suhteissa?
3. miten käytettävissä olevat rehut olisi jaettava kasvatuskauden eri vaiheiden osalle?
4. mikä teurastusajankohta olisi valittava?

Tuotannon optimoimiseen tarvittavan perustiedon hankkimiseksi funktiolta edellytetään siten tiettyä yleistettävyyttä. Eläinten ravitsemukseen soveltuvien rehuaineiden lukumäärä on varsin suuri ja erilaiset kombinaatiot huomioon ottaen lähes rajaton. Lisäksi varsin harvat rehuaineet voivat tuotantovaikutus-, hinta- ym. tekijät huomioon ottaen toimia suoraan toistenta substituutteina. Näistä ja

jo estimointiteknisistäkään syistä kaikkia rehuaineita ei sellaisinaan voida sisällyttää tuotosta selittävinä muuttujina tuotantofunktioon. Toisaalta vain joidenkin rehujen käyttö tuotantopanoksina rajoittaa funktion laajempaa sovellutuskenttää. Tuotantopanoksen määrittelyssä tulisi myös ottaa huomioon rehujen mahdolliset laatuvaihtelut. Rehujen määrän ilmaiseminen painoyksikköinä ei ole tästä syystä riittävän tarkka mitta. Laaditut naudanlihan tuotantofunktiot ovat useimmiten kuitenkin perustuneet ruokintaan 2-3 rehuaineella, joiden määrät on ilmaistu joko paino- tai energiayksikköinä (vrt. kpl 2.). Tuotoksen ja tuotantopanosten mittaamisessa esiintuleviin ongelmiin palataan kuitenkin jäljempänä.

3.3.2. Aika tuotantoprosessissa

Naudanlihan tuotantofunktion luonnetta on tarkasteltu edellä staattisena tapahtumana ottamatta huomioon tuotantoprosessiin oleellisenä tekijänä liittyvää aikaa. Tässä suhteessa lihantuotanto kuitenkin eroaa muusta biologisesta tuotannosta. Esimerkiksi kasvituotannossa sadon valmistuminen vaatii tuotantopanosten käyttötasosta riippumatta suhteellisen vakiona pysyvän ajanjakson, jolloin aika voidaan jättää huomioon ottamatta. Sitävastoin lihantuotannossa tuotos kasvaa ajan funktiona. Aika sellaisenaan ei kuitenkaan ole tuotantopanoksiin rinnastettava tekijä vaan tuotoksen aikaansaaminen luonnollisesti edellyttää yleisten tuotantoedellytysten ohella tuotantopanosten mukanaoloa. Staattisella naudanlihan tuotantofunktiolla, jossa aika oletetaan vakioksi, voidaan tutkia tuotannon intensiivisyyttä ts. tuotoksen vaihteluita tuotantopanosten funktiona. Se ei kuitenkaan anna vastausta kysymykseen, minkä pituinen kasvatusajanjakson tulee koko tuotantoprosessia ajatellen olla, vaan tämän selvittäminen edellyttää ajan ottamista erääksi tuotantoon liittyväksi muuttujaksi. Aika on myös tekijä, joka voi toimia muuten vaikeasti mitattavan tuotospäärän indikaattorina, jos ajan ja tuotospäärän välille on löydettävissä jokin empiirinen riippuvuus tai muu kiinnekohta.

Aikaa voidaan naudanlihan tuotantoon liittyvänä tekijänä luonnehtia rajoittavaksi, jota se on kahdesta syystä:

1. Eläimen syöntikyvyllä on olemassa yläraja, jolloin tuotantopanoksen lisääminen edellyttää myös ajan lisääntymistä.
2. Eläimen kasvunopeudella ts. kyvyllä muodostaa uusia kudoksia on myös tietty fysiologinen yläraja. Tietyn tuotosmäärän saavuttaminen vaatii vaihtelevan ajan riippuen siitä, millä nopeudella kasvu tapahtuu.

Kun tarkastellaan mainittuja ajan kahta ominaisuutta, voidaan niiden havaita liittyvän läheisesti toisiinsa. Jos lähdetään siitä, että eläin syö rehua syöntikykyään vastaavasti, se tarvitsee tietyn rehuannoksen syömiseen tietyn pituisen ajan. Tällä rehuannoksella aikaansaadun tuotoksen määrä on, ellei muita tekijöitä oteta huomioon, puolestaan riippuvuussuhteessa rehun niiden tekijöiden määrästä, jotka ovat kasvulle välttämättömiä. Jos nämä kasvutekijät ovat "optimitasolla", eläimen kasvukyky käytetään täysin hyväksi. Jos ne ovat alle optimitason, on tuotosmäärä aikayksikössä vastaavasti pienempi ts. kasvu tapahtuu hitaammin. Tässä tarkoitettun kasvunopeuden teknisen ylärajan ohella on tietenkin taloudellinen raja, jonka ylittäminen ei ole mielekäästä. Todellisuudessa onkin kysymys juuri siitä, missä taloudellinen optimi sijaitsee tai miten lähelle tätä voidaan päästä.

Käytännön lihantuotannossa ajalla tuotannontekijänä on merkitystä lähinnä kustannussyistä. Tuotantoprosessiin liittyvät kustannukset jaetaan tavallisesti kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin riippuen siitä, miten ne suhtautuvat tuotantotoimintaan, kuten edellä (3.2.) on mainittu. Jos ajan annetaan muuttua, ovat useimmat staattisessa tilanteessa kiinteiksi katsottavat kustannukset muuttuvia ajan suhteen. Muuttuvia kustannuksia ovat siten mm. tuotantorakennuksista aiheutuvat kustannukset, eläinomaisuuden korko ja tässä myös ylläpitorehusta aiheutuva kustannus, koska ylläpitorehun määrä kasvaa iän funktiona eikä ylläpito- ja tuotantorehua eroteta tässä tutkimuksessa toisistaan. Lihan tuotantokustannuksista osa olisi näinollen suhteellisesti muuttuvia kustannuksia (MELLEROWITCZ 1951, ss.23-24).

Ajan suhteen muuttuvat kustannukset vaikuttavat lähinnä keskimääräisten kokonaiskustannusten suuruuteen ja tätä kautta taloudelliseen lopputulokseen, sillä ajan ja useimpien kustannuserien välinen riippuvuussuhde voitaneen katsoa lineaariseksi. Rajakustannuskäyrän muotoon niillä ei siten ole vaikutusta.

4. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavan mallin muodostaminen

4.1. Perustekijöistä eläintuotannossa

Kun pyritään kuvaamaan tarkasteltavana olevaa ongelmaa teoreettisen mallin avulla, tulee lähtökohtana olla todellinen tuotantoprosessi siinä vaikuttavine osatekijöineen. Mallin tulisi tosin sanoen sisältää ne tekijät (muuttujat), joiden voidaan ajatella esiintyvän ja vaikuttavan siinä todellisessa tapahtumasarjassa, jota mallin avulla kuvataan. Ennen naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavan mallin muodostamista onkin syytä tarkastella biologisen tuotantoprosessin, kasvun, keskeisimpiä piirteitä. Tässä yhteydessä rajoitutaan lähinnä päälinjoihin, jotka ovat oleellisia tarkoituksenmukaisen mallin muodostamisen ja mallissa vaikuttavien muuttujien valinnan kannalta. Yksityiskohtaisemmista ravinto-opillisista julkaisuista ja tutkimuksista mainittakoot esim. PALOHEIMO (1956), ANDERSEN (1969, ss.18-30) sekä KELLNER ja BECKER (1971).

Sekä tuotanto että elintoimintojen ylläpitäminen vaativat energiaa, jonka tulee olla sulavien ravintoaineiden muodossa. Ravinnontarve on pääasiassa energiantarvetta, jonka tyydyttämisessä voivat tulla kysymykseen useimmat rehun orgaanisista aineista, ensisijaisesti kuitenkin hiilihydraatit. Elimistön ylläpidossa ja rasvan muodostuksessa nämä aineet voivat korvata toisiaan. Ne eivät kuitenkaan riitä kasvun eli valkuaismuodostuksen aikaansaamiseen, vaan tätä varten energian tulee sisältää myös sellaisia tyypellisiä aineita, valkuaisaineita ja aminohappoja, joista eläinvalkuaisen muodostuminen on mahdollista. Elimistön ylläpito ja tuotanto vaativat siten tietyn määrän ravintoaineita, joista osan tulee olla valkuaisaineiden muodossa. Ravinnontarpeeseen sisältyvät energian ja valkuaisen lisäksi vielä kivennäisaine- ja vitamiinitarve.

Osa rehun energiasta hukkaantuu ulosteissa ja erilaisina muuntumistappioina. Tämä määrä vaihtelee eri rehujen välillä ja mm. tästä syystä energiakäsite ei ole yksiselitteinen eläinten ravitsemuksessa. Rehujen energiasisällön ja keskinäisen arvojärjestyksen kuvaamista varten energian mittayksikön kalorin rinnalle on käytäntöä varten kehitetty muita mittayksiköitä, jotka paremmin kuin rehun kokonaiskalorimäärä kuvaavat rehujen tuotantovaikutusta. Rehujen tuotantovaikutukseen kohdistunut tutkimustyö on vanhaa; varhaisemmista tämän alan tutkijoista mainittakoon THAER (1809), joka pyrki mittaamaan mm. rehujen tuotantovaikutuksen suhteessa heinän tuotantovaikutukseen. Silloisissa olosuhteissa tämä lähtökohta oli hyvin puolustettavissa.

Ruokintatutkimuksessa käytössä olevat energianyksiköt perustuvat rehun energiamäärään tietyissä muuntumisvaiheissa. Ravitsemukselliselta kannalta katsottuna energia luokitellaan seuraavasti:

1. Bruttoenergia: = rehun sisältämä kokonaisenergia
2. Sulavien ravintoaineiden sisältämä energia: = kokonaisenergia - sulamattomien aineiden (sona) sisältämä energia
3. Muuntokelpoinen energia: = kokonaisenergia - ulosteisiin (sona, virtsa, metaani) sitoutunut energia
4. Nettoenergia: = muuntokelpoinen energia - lämmönmuodostuksesta aiheutuvat muuntumistappiot. Nettoenergia on käytettävissä elimistön ylläpitoon ja tuotantoon.

Useimmat rehuarvojärjestelmät perustuvat rehujen nettoenergiasisältöön, esim. Euroopassa laajalti käytössä oleva KELLNER:in (1907) tärkkelysarvojärjestelmä, HANSSONin (1916) rehuyksikköjärjestelmä. Ns. TDN-järjestelmässä (Total Digestible Nutrients), joka on käytössä lähinnä Yhdysvalloissa, rehujen arvo määräytyy sulavien ravintoaineiden sisältämän energian perusteella.

Kasvun edellytyksenä on, että energia sisältää tarpeellisen määrän tyypillisiä aineita, jotka riittävät kudostumiseen ja ns. kulumishukan korvaamiseen. Tähän tarkoitukseen käytökelpoisen valkuaisen määrää rehussa mitataan yleisimmin sulavana

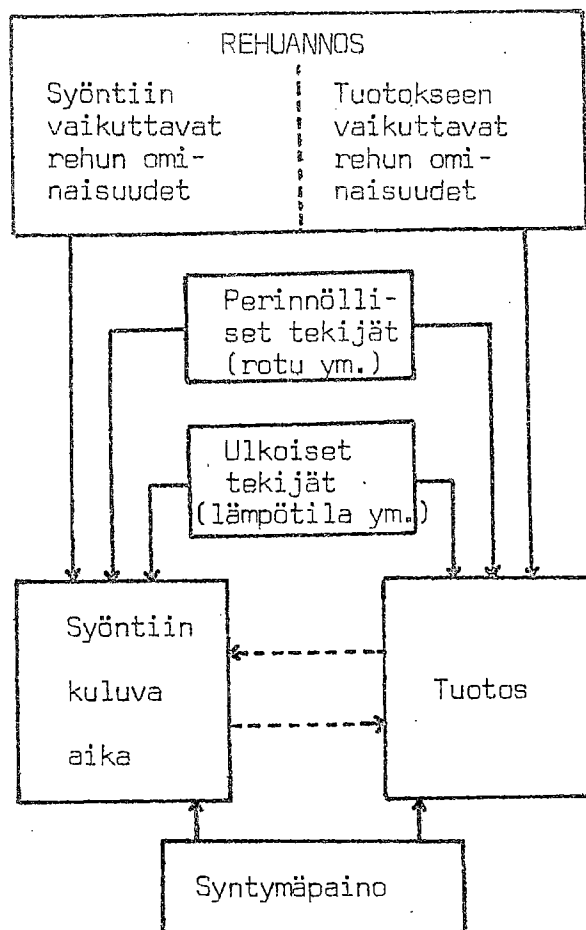
raakavalkuaisena (srv). Mittayksikkönä se ei ole aivan täsmällinen, sillä srv:n biologisessa arvossa esiintyy eroja rehujen välillä. Mm. PALOHEIMO (1956, s.121) kuitenkin katsoo, että monipuolisessa ruokinnassa vaihtelut eivät liene suuria.

Energia-, valkuais-, kivennäis- ja vitamiinitarpeen eli lyhyesti ravinnontarpeen tyydyttämismahdollisuuksia tarkasteltaessa joudutaan rehun täyttävyyks-käsitteeseen, joka ilmaistaan tavallisesti kuiva-aineen määränä rehuyksikössä (kgka/ry). Eläimen rajallinen kyky syödä rehua ts. eläimen syöntikapasiteetti voi esiintyä ravinnon saantia rajoittavana tekijänä silloin, kun rehu on kovin täyttävää eli kun rehun väkevyysaste on alhainen. Rehuyhdistelmän laadinnassa on siten kiinnitettävä huomiota sen täyttävyyteen suhteessa eläimen syöntikapasiteettiin ja ravinnontarpeeseen, koska näin voidaan vaikuttaa kasvunopeuteen, jonka merkitystä lihantuotannossa aikaan vaikuttavana tekijänä tarkasteltiin edellä (3.3.2.). Eläimen syöntikykyä voidaan mitata esimerkiksi rehun kuiva-aineen (ka) määrällä aikayksikköä kohti (kgka/pv). Eläimen koon (painon) lisäksi syöntikykyyn vaikuttavia tekijöitä tunnetaan monia. Tekijöiden monilukuisuus, kuten esim. LAMPILA (1971 ja 1970, s.170) sekä HYPPÖLÄ, HASUNEN (1971, s.10) mainitsevat, vaikeuttaa syöntikyvyn normittamista. MÄKELÄ (1956, s.108) on ruokintakokeiden tuloksena todennut mm., että väkirehujen täyttävyyksivaikutus on vain 0.5 ja esim. sokerijuurikkaan naattien 0.8 kertainen tyypillisten karkearehujen heinän, AIV-säilörehun ja olkien täyttävyyksivaikutukseen verrattuna. HYPPÖLÄ ja HASUNEN (1971, s.10) ovat tästä syystä esittäneet täyttävyyden normittamista muunnetun kuiva-aineen (mka) määrällä, jossa rehujen väliset täyttävyyserot otetaan huomioon.

4.2. Mallin muodostaminen

Naudanlihan tuotantoprosessia on pyritty selventämään siinä vaikuttavien tekijöiden ja tekijäryhmien avulla lähemmin kuviossa 4, joka samalla muodostaa tuotantoprosessia kuvaavan dynaamisen perusmallin päälinjat. Tuotantoprosessin kuvaajana mallia on tarkoituk-

Kuvio 4. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaava kaavio



sella ja osittain pakosta supistettu jättäen määrittelemättä yksityiskohtaisesti joidenkin muuttujaryhmien sisältö¹⁾. Tähän aggregointiin on yksinkertaisena selityksenä se, että ryhmien sisältämien yksittäisten muuttujien luku voi toisaalta olla hyvinkin suuri ja toisaalta on ilmeisen vaikea määritellä eräiden muuttujaryhmien sisältö yksiselitteisesti. Niinpä esim. tuotos sisältää määrän ja laadun. Perinnölliset erot voivat taas olla ryhmien, esim. rotujen tai toisaalta yksilöiden välisiä eroja, jotka riippuvat monista tekijöistä. Näistä tekijöistä irrallisena esiintyy kuviossa kuitenkin syntymäpaino, joka yleensä on helposti indikoitavissa.

¹⁾ Noudatettaessa BENTZELin ja HANSENin (1954, ss.155-156) jakoa perusmalleihin ja johdettuihin malleihin tässä on kysymyksessä johdettu malli. Perusmalli edellyttäisi kaikkien osatekijöiden esittämistä, joten se on lähinnä teoreettinen.

Mallin muuttujien riippuvuussuhteiden tarkasteluun voidaan käyttää seuraavaa ekonometrisissa tutkimuksissa sovellettua muuttujaryhmittelyä (vrt. esim. JOHNSTON 1972, s.3):

1. Riippuvat eli endogeeniset muuttujat
2. Ennaltamääräytyneet $\left\{ \begin{array}{l} \text{selittävät eli eksogeeniset muuttujat} \\ \text{viivästetyt eksogeeniset muuttujat} \\ \text{viivästetyt endogeeniset muuttujat} \end{array} \right.$
3. Havaitsemattomat satunnaismuuttujat

Tuotos on selvästi endogeeninen muuttuja, joka riippuu mm. rehun määrästä ja sen tietyistä ominaisuuksista sekä eläimen perinnöllisistä ja tuotannon ulkoisista tekijöistä. Nämä kaksi viimeainittua tekijäryhmää, kuten syntymäpainokin, on luettava kuuluviksi ennaltamääräytyneiden eksogeenisten muuttujien ryhmään. Tästä myös seuraa, että syöntiaika on endogeeninen muuttuja, jota säätelevät esim. rehun määrään liittyvät tekijät, perinnölliset ja ulkoiset tekijät ja todennäköisesti myös syntymäpaino. On korostettava, että tuotos on lopputulos tapahtumasarjasta, johon liittyy suuri joukko erilaisia biologisia ja fysiologisia tapahtumia.

Kuviossa 4 on esitetty katkoviivoin riippuvuudet rehun syöntiin kuluvan ajan ja tuotoksen välillä. Tuotoksella, millä tässä ymmärretään lähinnä eläimen koon muutosta, mutta joka itse asiassa sisältää myös muuta esim. tuotoksen laadun vaihtelut, oletetaan siten olevan vaikutusta rehun syöntiin tarvittavan ajan pituuteen. Syöntiajan muutoksen oletetaan puolestaan vaikuttavan tuotokseen siitä syystä, että tuotos aikayksikössä (tuotoskyky) on rajallinen ja että tuotoskyky eläimen kehittyessä heikkenee. Lyhyellä aikavälillä viimeainittu riippuvuus lienee lähinnä teoreettinen. Näiden kahden endogeenisen muuttujan välinen riippuvuus tekee mallista ns. moniyhtälömallin, jonka yhtälöitä ei voida estimoida toisistaan erillään. Malli on ns. simultaaninen malli, jos riippuvuus tuotoksen ja ajan välillä on molemminpuolinen, ja rekursiivinen, jos riippuvuus on yhdensuuntainen ts. vain tuotoksen vaihtelulla on vaikutusta aikaan.

Kun merkitään:

Y = tuotos

X_i = tuotokseen vaikuttavat rehun ominaisuudet

T = aika

Z_i = syöntiin vaikuttavat rehun ominaisuudet

u_i = havaitsemattomat satunnaismuuttujat

ja oletetaan muut tekijät vakioiksi, voidaan mallin rakenneyhtälöt kirjoittaa seuraavaan muotoon:

A. Simultaaninen malli

$$Y = f(T, X_i) + u_Y$$

$$T = f(Y, Z_i) + u_T$$

B. Rekursiivinen malli

$$Y = f(X_i) + u_Y$$

$$T = f(Y, Z_i) + u_T$$

C. Kahden yhtälön malli

$$Y = f(X_i) + u_Y$$

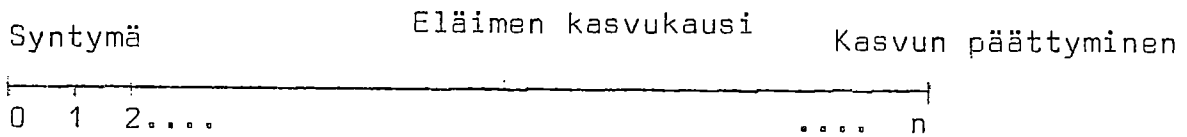
$$T = f(Z_i) + u_T$$

Esitetyt kolme mallihypoteesia ovat moniyhtälömalleja, joista kuitenkin vain viimeksi esitetyn yhtälöt voidaan estimoida toisistaan erillisinä. Mallin kokonaisuus edellyttää, että tässäkin molemmat yhtälöt ovat samanaikaisesti voimassa. Viimemainittua mallia C kutsutaan tässä kahden yhtälön malliksi erotuksena myös kaksi yhtälöä sisältävistä simultaanisesta ja rekursiivisesta mallista.

4.3. Mallin rajaaminen

Ennen teoreettisten mallivaihtoehtojen A, B ja C sisältämien muuttujien määrittämistä ja mallihypoteesien muodostamista on syytä tarkastella eräitä mallin ratkaisun kannalta keskeisiä kysymyksiä. Seuraavassa tarkastellaan lähemmin mallin ratkaisun asettamia yleisiä vaatimuksia sekä muuttujien mittaamiseen liittyviä näkökohtia.

Kuten teoreettisen mallin yhteydessä edellä on käynyt esille, tuotantoprosessin kulku on varsin monitahoinen. Kysymys ei ole ai-noastaan tuotoksen määrän riippuvuudesta panosten määrästä vaan mu-kana ovat mm. tuotoksen laatu, aika (kasvunopeus) sekä yksilöiden, sukupuolten ja rotujen väliset erot. Tyydyttävän kokonaismallin, jolla vältettäisiin erilaisiin osatarkasteluihin liittyvät haitta-tekijät, muodostumiseen tarvitaan siten monipuolista perustietoa. Mallin ratkaisu edellyttää poikkileikkausmaisesti tapahtuvaa tar-kastelua. Tätä voidaan havainnollistaa esim. oheisen kaavion avulla.



Kasvukausi on kaaviossa luokiteltu n kappaleeseen kasvatusjaksoja käyttäen tiettyä luokitteluperustetta, jollaisena voi olla esim. eläimen ikä. Malliin sisältyvien relevanttien muuttujien vaikutuk-sen huomioonottaminen edellyttää, että jaksot ovat toisistaan riip-pumattomia. Edellyttäen, että luokittelu on suoritettu jonkin mitta-yksikön esim. iän suhteen, koko kasvukausi muodostuisi nyt seuraa-vasti:

<u>Jakso</u>	<u>Jakson pituus</u>
1	0-1 aikayks.
2	0-2 "
⋮	⋮
n	0-n "

Kultakin jaksolta tulee voida selvittää tuotantoprosessissa vaikuttavien muuttujien arvot. Tarkasteltavana olevan ongelman kan-nalta keskeiset muuttujat voidaan ryhmitellä kuuluviksi esim. seu-raaviin ryhmiin:

1. syntymätiedot, esim. paino ja geneettiset tekijät
2. tiedot käytetyistä rehuista rehuanalyyseineen sekä rehujen käyttömääristä
3. teurastustulos, josta voidaan selvittää lihamäärä (teurastus%), lihan laatu ym. tuotoksen määrittämisessä tarpeellinen tieto
4. mahdolliset ulkoiset tekijät

Kuten edellisestä voidaan havaita, yksi eläin (tai -ryhmä) voi olla mukana vain yhden kasvatusjakson ajan ja muodostaa siten vain yhden havainnon. Tästä on seurauksena, että koko kasvukauden ajalta tarvittavien eläinten luku on teoriassa vähintään n kpl. Kunkin jakson osalta eläimiä on kuitenkin oltava yleensä useita, jotta panos-tuotos suhteen kannalta riittävän laaja kasvatuksen intensiteetin vaihtelu voidaan toteuttaa. Useita eläimiä edellyttää myös esim. syntymäpainon ja yleensä yksilöllisten tekijöiden sekä perinnöllisten esim. rotujen välisten erojen selvittäminen.

Tässä yhteydessä on kiinnitettävä huomiota myös laidunkauteen, jota erityisesti naudanhäntuotannossa pidetään edullisena mm. pienien työmenekin vuoksi. Kuten jäljempänä tutkimusaineiston käsittelyn yhteydessä tulee tarkemmin esille, laidunkauden ajoittumisella tuotantokaudelle on tiettyjä haittatekijöitä panos-tuotos suhteiden estimoinnin kannalta. Kysymys on lähinnä rehunkäytön mittaamisesta, mikä vapaalla laitumella ei yleensä voi tapahtua riittävällä tarkkuudella.

Tuotantoprosessia kuvaavaa mallia muodostettaessa viitattiin kuvion 4 yhteydessä syihin, joiden vuoksi tekijäryhmien sisältöä ei määritelty teoreettisen mallin yhteydessä. Pyrittäessä mallin ratkaisuun on osatekijöiden valinta kuitenkin suoritettava niiden mahdollisuuksien puitteissa, jotka toisaalta teoriassa ja toisaalta aineiston osalta ovat käytettävissä. Muuttujien valintaan tarkasteltavana olevat riippuvuussuhteet jo sinänsä antavat selviä viitteitä. Valinnan ongelma liittyy lähinnä muuttujien kvantifiointiin, mistä johtuen eräitä keskeisiä seikkoja joudutaan sivuuttamaan ja eräiltä osin tyytymään jokseenkin epätäsmällisiin ilmaisukeinoihin. Niinpä tuotoksen laatuksymykseen ei voida tässä yhteydessä puuttua, kuten edellä on jo todettu. Vain rajoitetusti voidaan tutkia myös eri rotujen välisiä eroja, kuten myöhemmin ilmenee tarkasteltaessa lähemmin käytettävissä olevaa tutkimusaineistoa.

Tuotosta mitataan elopainon muutoksella, sillä suuri osa havainnoista saadaan tuotantokauden kestäessä, jolloin teurastustulosta ei ole käytettävissä. Tuotoksen arvoa laskettaessa joudutaan siten käyttämään arvioita tai kokemusperäisiä lukuja esim. teurastusprosentista ja tuotetun lihan laadusta. Tuotannon kestoaikaa indikoiva rehun

syöntiaika mitataan päivien luvulla. Rehupanosta kuvaavien muuttujien valinta perustuu kohdassa (4.1.) esitetyille periaatteille. Perusmuuttujat ovat näinollen rehun kokonaisenergiamäärä (ry), sulavan raakavalkuaisen (srv) määrä ja kuiva-aineen (ka) määrä. Käytännöllisistä syistä, lähinnä muuttujien lukumäärän supistamiseksi, ei rehun kivennäisaineiden määriä eikä vitamiineja oteta huomioon. Tässä lähdetään siitä olettamuksesta, että niiden tarve on tyydytetty esim. lisärehujen avulla, mikä koeolosuhteissa todennäköisesti pitääkin paikkansa.

Mainittujen rehun kolmen komponentin sisältyminen tuotantopäinokseen vaatii lähempää tarkastelua erityisesti energian (ry) ja valkuaisen (srv) osalta. Nämä tekijät peittävät osittain toisensa siitä syystä, että valkuainen on mukana myös energiassa ja tulee sitä kautta jo kertaalleen otetuksi huomioon. Energian ja valkuaisen kokonaismäärän käyttäminen sellaisinaan muuttujina saattaa tällaisessa tapauksessa aiheuttaa regressiokertoimien estimaatteihin harhaisuutta tai tehdä ne epäloogisiksi. Kasvulle välttämättömän valkuaisen riittävyys ei kuitenkaan näy energian määrässä, koska energia periaatteessa voi olla myös täysin valkuaisetonta. Valkuaismuuttujan huomioon ottamiseksi voitaisiinkin teoriassa ajatella kahden tapaa; joko käytetään valkuaisen kokonaismäärää ja eliminoidaan se energian määrästä tai ilmaistaan valkuainen eräänlaisena energian laatua selittävänä apumuuttujana. Tässä tutkimuksessa on päädytty viimeainittuun tapaan ilmaisemalla valkuaismuuttuja energian valkuaisväkevyytenä (g srv/ry). Tämän ohella tutkitaan valkuaismuuttujaa kuitenkin myös srv:n kokonaismäärällä sekä rehuannoksen sisältämän tyypin kokonaismäärällä mitattuna.

Rehun syöntiaikaa säätelevänä tekijänä käytetään rehuyhdistelmän kuiva-aineen määrää. Tietyllä tavalla laskettu rehun muunnetun kuiva-aineen määrä (vrt. kohta 4.1.) todennäköisesti tarjoaisi tähän tarkoitukseen täsmällisemmän ilmaisutavan. Kuiva-ainemäärän valinta johtuu lähinnä käytännöllisistä syistä. Rehun laatua syöntiaikaan vaikuttavana tekijänä kuvataan rehun väkevyydellä (ry/100 kg ka). Tämä muuttuja on katsottu aiheelliseksi ottaa mukaan, koska rehun täyttyvyysasteella (väkevyyden käänteisluku) on todettu olevan vaikutusta kuiva-aineen syöntimäärään (vrt. esim. LAMPILA 1971). Syöntiin vaikuttavien rehun kvalitatiivisten tekijöiden, mm. maittavuuden

vaikutusta ei tässä ole voitu ottaa tarkasteltavaksi. Laajemmin ei ole mahdollisuuksia tutkia myöskään eläinyksilöiden välisiä, mm. LAMPILAN (1971) mukaan todennäköisesti suurelta osin perinnöllisistä tekijöistä johtuvia eroja rehun syönnissä.

Kuiva-aineen syöntimahdollisuus riippuu eläimen mahojen kapasiteetista, joka kasvun seurauksena suurenee. Kokoa kuvaavana muuttujana käytetään eläimen painoa kasvatuksen alussa. Paino sisällytetään myös tuotosta selittävien muuttujien joukkoon, sillä eräiden tutkimusten mukaan (esim. LINDSTRÖM 1970, s.7) syntymäpainon ja tuotosmäärän välillä on positiivista korrelaatiota.

Kuten edellä on jo käynyt ilmi, perinnöllisten ominaisuuksien kvantifioiminen on tehtävä, jonka käsittelyyn tässä yhteydessä ei laajemmalti ole mahdollisuuksia. Ryhmien, kuten rotujen tai sukupuolten välisiä eroja voitaisiin tutkia esim. sisällyttämällä malliin näitä kuvaavat apumuuttujat. Toisaalta voitaisiin menetellä siten, että malli ratkaistaan erikseen kunkin homogeenisen ryhmän, rodun, sukupuolen jne. suhteen. Tässä tutkimuksessa on käytetty apumuuttujaa, joka kuvaa lähinnä vain Suomenkarjan ja muiden rotujen välisiä eroja. Tähän ratkaisuun vaikuttaneet syyt tulevat esiin aineiston tarkastelun yhteydessä.

Sovelletussa mallissa käytetyt muuttujat erilaisine vaihtoehtoisine ilmaisumuotoineen ovat siten seuraavat:

Endogeeniset muuttujat

T = syöntiaika (rehun syöntiin kulunut aika) pv

Y = tuotos (elopainon lisäkasvua) kg

Eksogeeniset muuttujat

a. rehupanosta kuvaavat

X_1 = rehuyhdistelmän kuiva-ainemäärä, kgka

X_2 = rehuyhdistelmän väkevyys, ry/100 kgka

X_4 = rehuyhdistelmän energiamäärä, ry

X_6 = rehuyhdistelmän sulavan raakavalkuaisen määrä, kg srv

X_7 = rehuyhdistelmän valkuaisväkevyys g srv/ry

X_9 = typen määrä rehuyhdistelmässä, kg

b. ulkoisia eroja kuvaavat

X_3 = eläimen alkupaino, kg

D_{sk} = apumuuttuja, joka Suomen karjalla = 1
muilla = 0

4.4. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavat mallit

4.4.1. Moniyhtälömallit

Moniyhtälömalleilla tarkoitetaan tässä simultaanista ja rekursiivista mallia erotuksena ns. kahden yhtälön mallista, jossa endogeenisten muuttujien välillä ei oleteta olevan riippuvuutta. Kun otetaan huomioon edellisessä kohdassa esitetyt muuttujien vaihtoehtoiset ilmaisutavat, voidaan simultaaninen malli kirjoittaa seuraavasti:

A. Simultaaninen malli

$$\begin{aligned} 1. Y &= f(T, X_4, X_6, X_3, D_{sk}) + u_{1Y} \\ 2. Y &= f(T, X_4, X_7, X_3, D_{sk}) + u_{2Y} \\ 3. Y &= f(T, X_4, X_9, X_3, D_{sk}) + u_{3Y} \\ T &= f(Y, X_1, X_2, X_3, D_{sk}) + u_T \end{aligned}$$

B. Rekursiivisena malli on seuraava:

$$\begin{aligned} 1. Y &= f(X_4, X_6, X_3, D_{sk}) + u_{1Y} \\ 2. Y &= f(X_4, X_7, X_3, D_{sk}) + u_{2Y} \\ 3. Y &= f(X_4, X_9, X_3, D_{sk}) + u_{3Y} \\ T &= f(Y, X_1, X_2, X_3, D_{sk}) + u_T \end{aligned}$$

Malleissa A ja B on muodostettu kolme vaihtoehtoista tuotosyhtälöä (1., 2. ja 3.) sen mukaan, miten tuotosta selittävät rehu-panosmuuttujat ilmaistaan. Näistä pyritään valitsemaan sopivin vaihtoehto esitutkimuksen avulla jäljempänä kohdassa 4.6.2. Kummasakin mallissa on kaksi yhtälöä ja kaksi endogeenista muuttujaa ja ne on siten ns. täydelliset mallit, (JOHNSTON 1972, s.342).

Moniyhtälömallien estimointiin liittyy läheisesti kysymys mallin identifioitavuudesta, jonka teoreettisten perusteiden osalta tyydytään viittaamaan mm. JOHNSTONin (1972) esitykseen ss. 349-360. Jotta mallin parametrit voitaisiin estimoida mallin tulee täyttää identifioitavuusehto ts. yhtälöstä poissuljettujen ennaltamääräyty-

neiden muuttujien luvun tulee olla \geq yhtälön endogeenisten muuttujien luku - 1. Malleihin sisältyy kaikkiaan 6 ennaltamääräytynyttä eksogeenista muuttujaa, joista 4 esiintyy kussakin yhtälössä. Kun kuhunkin yhtälöön sisältyy korkeintaan 2 endogeenista muuttujaa, voidaan mallit todeta yli-identifioiduksi ja täyttävän asetetun ehdon.

Simultaaninen malli asettaa tietyt rajoitukset funktion muodon valinnalle. Mallin ratkaisemisen edellytyksenä tavanomaisia estimointimenetelmiä käyttäen on se, että funktio on lineaarinen tai jollakin transformaatiolla muunnettavissa lineaariseksi. Tämä vaatimus liittyy mm. mallin saattamiseen ns. redusoituun muotoon (JOHNSTON 1972, s.349). Simultaanisten mallien yhteydessä käytetäänkin yleisimmin lineaarista funktiomuotoa. Koska tarkasteltavana oleva ongelma asettaa funktion muodolle eräitä muita vaatimuksia, tarkastellaan funktion muodon valintaa jäljempänä kohdassa 4.6.1.

4.4.2. Kahden yhtälön malli

Lähtemällä olettamuksesta, että tuotoksen ja ajan välillä ei esiinny simultaanista eikä rekursiivista riippuvuutta, voidaan malli kirjoittaa esitetyt muuttujavaihtoehdot huomioon ottaen seuraavasti:

C. Kahden yhtälön malli

$$1. Y = f(X_4, X_6, X_3, D_{sk}) + u_{1Y}$$

$$2. Y = f(X_4, X_7, X_3, D_{sk}) + u_{2Y}$$

$$3. Y = f(X_4, X_9, X_3, D_{sk}) + u_{3Y}$$

$$T = f(X_1, X_2, X_3, D_{sk}) + u_T$$

Mallin tuotosyhtälö ja syöntiaikaa estimoiva yhtälö määräytyvät toisistaan erillisinä. Tuotosyhtälöä voidaan mallissa luonnehtia perusyhtälöksi eli tuotantofunktioksi, joka määrittelee panosten ja tuotoksen välisen riippuvuuden. Jälkimmäinen yhtälö antaa informaatiota tuotannon intensiivisyydestä kuvaamalla panosten käytön ja ajan välistä riippuvuutta. Vaikka yhtälöt tässä mallissa määräytyvät itsenäisesti, toisistaan riippumatta, mallijärjestelmän täydellisyys edellyttää niiden olevan voimassa samanaikaisesti.

4.5. Tutkimusaineisto ja sen käsittely

Maatalouden tutkimuskeskuksen kotieläinhoidon tutkimuslaitoksen järjestämät kasvatuskokeet muodostavat pääasiassa sen materiaalin, joka on käytettävissä naudanlihan tuotantoon liittyvien kysymysten selvittelyyn maamme olosuhteissa. Nämä kokeet muodostavat myös tämän tutkimuksen perusaineiston. Tutkimuksessa on mukana 13 kasvatuskoetta vuosilta 1960-70 ja niiden eläinmäärä on yhteensä yli 400 kpl. Osa kokeiden tuloksista on julkaistu sarjoissa MAATALOUS ja KOETOIMINTA sekä KOETOIMINTA ja KÄYTÄNTÖ¹⁾. Tässä tutkimuksessa on käytetty suoraan kokeiden perusmateriaalia.

Roduittain ryhmiteltyinä mainittujen kasvatuskokeiden eläimet jakaantuivat seuraavasti:

Ayrshire (Ay)	195 kpl
Suomenkarja (Sk)	118 "
Ayrshire-Charolais risteytykset (AyCh)	38 "
Suomenkarja-Charolais risteytykset (SkCh)	39 "
Friisiläinen-Suomenkarja risteytykset (FrSk)	14 "
Sveitsiläinen ruskea rotu (SB)	<u>12 "</u>
Yhteensä	416 kpl

Kokeiden alkuperäisenä tarkoituksena on ollut selvittää mm. erilaisten rehuyhdistelmien ja ruokinnan intensiteetin vaikutusta tuotoksen suuruuteen, laatuun ja eläinten kasvunopeuteen, kevät- ja syysvasikoiden soveltuvuutta kasvatukseen, laitumella ja sisäruokinnalla saavutetun lisäkasvun suhdetta sekä rotujen ja risteytysten välisiä lisäkasvu- ja rehukulutuseroja jne. Kokeiden kesto aika on vaihdellut muutamasta kuukaudesta noin kahteen vuoteen. Kokeet ovat pääasiassa olleet kahden tai useamman eläimen ryhmäkokeita siten, että lähinnä karkean rehun kulutus on mitattu koko ryhmää kohti. Muilta osin kokeista on yleensä saatavissa yksilökohtaiset tulokset. Koe-eläinten painot ja rehujen kulutusmäärät on mitattu 20-40 päivän väliajoin. Rehuista tehtyjen laboratorioanalyysien perusteella voidaan laskea mm. eläinten rehussa saaman energian, sulavan raakavalkuaisen ja kuiva-aineen määrät. Laidunkauden ajalta rehunkulutus on useimmiten arvioitu normilukujen perusteella. Kokeen lopussa on selvitetty teurastustulos lihan laatuarvosteluineen.

¹⁾ Mm. MAATALOUS ja KOETOIMINTA 17:263-278 sekä 21:234-241.
Käytetyt kasvatuskokeet ilmenevät myös liitteestä 1.

Kohdassa 4.3. käsiteltiin lähemmin syitä, joista johtuen tarkastelu suoritetaan tässä tutkimuksessa aikaan nähden poikkileikkausmaisesti. Tämä tarkastelutapa asettaa tietyt vaatimukset aineistolle, kuten kohdassa 4.3. esitettiin. Voidaankin todeta, että vaikka tässä tutkimuksessa käytetty aineisto sisältää pääpiirteittäin tarpeellisen tiedon sen esille saamisessa on kuitenkin eräitä rajoitavia tekijöitä. On nimittäin huomattava, että suoritettut kokeet ovat yleensä toisistaan erillisiä ja tähtäävät jonkin tietyn kysymyksen selvittämiseen, jolloin koejärjestelyt on tehty kulloistakin tutkimustavoitetta silmälläpitäen. Tästä syystä mm. eräitä yksittäisiä kokeita voidaan vain osaksi käyttää hyväksi tässä tutkimuksessa.

Aineiston käsittelyssä aiheuttaa ongelman laidunkausi, jonka ajalta ei ole käytettävissä tarkkaa tietoa rehunkulutuksesta eikä rehun ominaisuuksista, sillä laidunrehun kulutus on laskettu saavutetun lisäkasvun perusteella. Normeihin perustuvaa rehun kulutusta ei tässä ole kuitenkaan mielekästä käyttää, koska pyritään empiirisen aineiston avulla määrittämään tuotoksen ja todella kulutetun rehun välistä suhdetta. Tästä syystä laidunkausi katkaisee tuotantokauden niin, että pisimmät yhtenäiset kasvatusjaksot muodostuvat noin yhden vuoden mittaisiksi. Laidunkauden jälkeen vielä jatkuneissa kokeissa ovat painonkehitystä ja rehunkäyttöä osoittavat tiedot taas käytettävissä tavalliseen tapaan. Toisaalta on kuitenkin ollut käytettävissä myös kasvatuskokeita, joita on suoritettu pelkästään tuotantokauden keski- ja loppuvaiheissa, joten aineisto kokonaisuudessaan peittää ajanjakson, joka ulottuu lähes 600 päivän (585) ikään saakka.

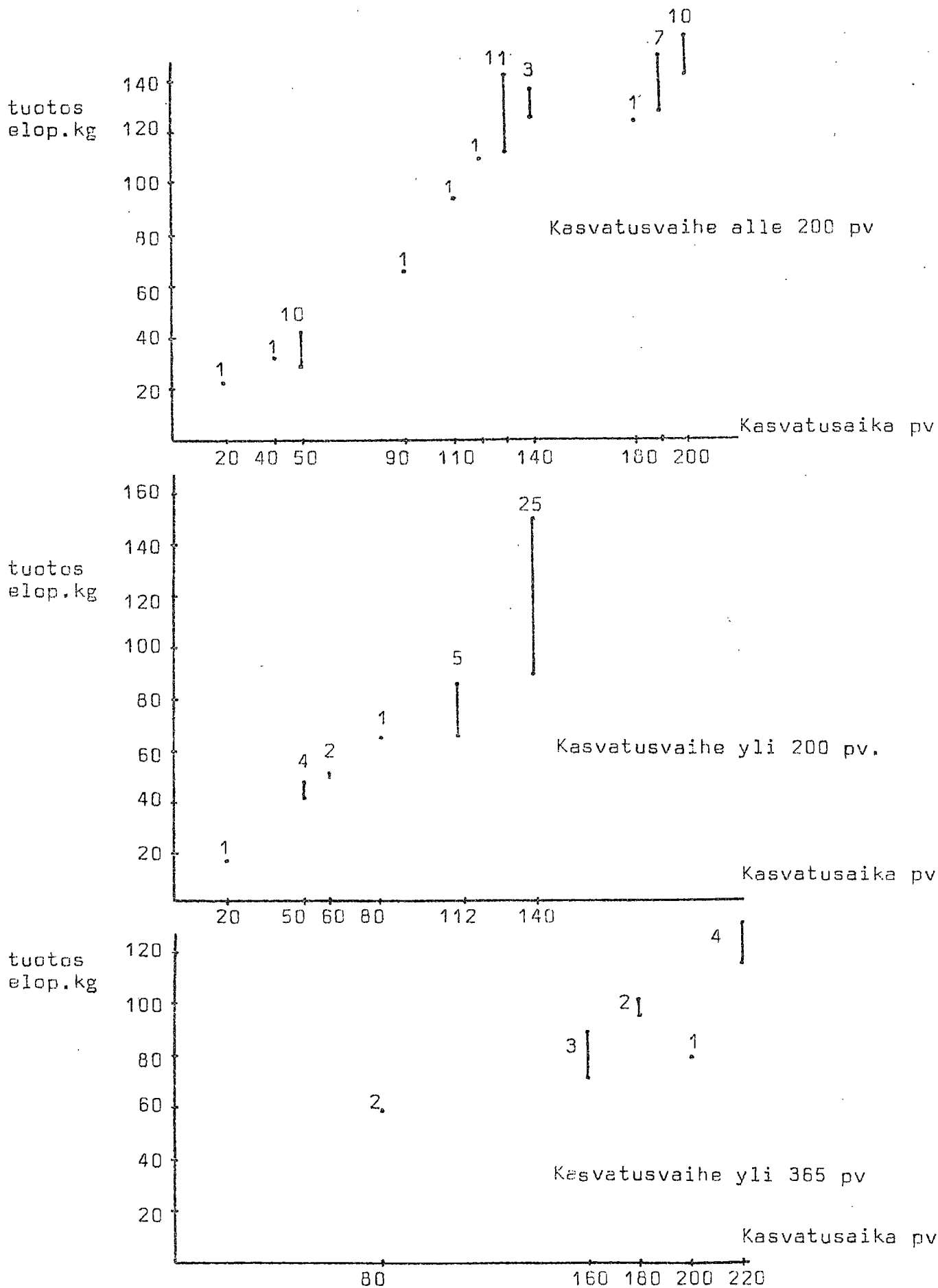
Yhtenäisten koko ajanjakson (0-585 pv) kattavien havaintojen puuttumisesta johtuen tarkastelu ja mallien estimointi on mahdollista suorittaa vain lyhyehköin aikaväleihin. Tässä on katsottu tarkoituksenmukaisimmaksi jakaa aineisto kolmeen osaan, joista ensimmäinen kattaa tuotantokauden alkuosan, toinen keskivaiheen ja kolmas loppuosan. Aineiston ryhmittelyssä tämän jaottelun mukaisesti on ensisijaisena lähtökohtana pidetty eläinten ikää, mutta samalla on pyritty siihen, että eläimet olisivat myös painon suhteen likimäärin samalla kehitystasolla. Ikäluokitusta käyttäen nämä kasvatusvaiheet ja niihin sisältyvien havaintojen lukumäärä roduttain muodostuivat seuraaviksi:

	Havaintojen lukumäärä						Yhteensä
	Ay	SK	AyCh	SkCh	FrSk	SB	
Kasvatusvaihe I, alle 200 pv	24	23	-	-	-	-	47
- " - II, yli 200 "	2	19	2	1	14		38
- " - III, yli 365 "	4	4	1	1	-	2	12
Yhteensä	30	46	3	2	14	2	97

Havaintojen lukumäärän voidaan siten todeta supistuneen noin neljännekseen koe-eläinten kokonaismäärästä. Supistuminen johtuu siitä, että yksilötulosten sijasta joudutaan käyttämään kahden tai useamman eläimen muodostamien ryhmien keskiarvoja, koska eräiden rehujen kulutus on mitattu ryhmää kohti. Tämän lisäksi eräistä kokeista ei niiden luonteen vuoksi voitu muodostaa kahden tai useamman eläimen pienryhmiä, vaan koe supistui yhdeksi keskiarvohavainnoksi. Teoreettista mahdollisuutta lisätä havaintojen lukumäärää käyttämällä saman eläinryhmän kumulatiivisia summahavaintoja ei katsottu mielekkääksi, koska havainnot olisivat olleet toisistaan riippuvia. Siirtymistä yksilöhavaintoihin, mikä myös olisi lisännyt havaintojen lukumäärää, ei katsottu aiheelliseksi, sillä ryhmää kohti annettu rehu olisi tällöin jouduttu jakamaan ryhmän eläinten kesken lähinnä arvioiden perusteella. Havaintomateriaalin niukkuus ilmenee erityisesti risteytyseläinten kohdalla. Laajempaan rotujen ja risteytysten väliseen vertailuun ei siten ole mahdollisuuksia. Tuotoksen osatekijä, lihan laatu, jää tässä yhteydessä myös tarkastelun ulkopuolelle, sillä kasvatusvaiheittaisen jaon vuoksi teurastustulosta ei yleensä ole käytettävissä eri vaiheiden lopussa.

Tutkimusaineisto ilmenee liitteestä 1 sekä kuviossa 5. Kuviossa on esitetty elopainotuotoksen ääriarvot kasvatusajan perusteella muodostetuissa luokissa sekä havaintojen frekvenssit kussakin luokassa. Tuotoksen hajonta iän funktiona sisältää sekä intensiivisyyden vaihteluista johtuvat erot että aineistossa esiintyvien rotujen ja risteytysten sekä yksilöiden väliset erot siinä määrin kuin ne keskiarvohavaintojen puitteissa tulevat esiin.

Kuvio 5. Tutkimusaineisto eri kasvatusvaiheissa. Tuotoksen ääriarvot kasvatusaikaluokittain. Frekvenssit on esitetty havaintopisteiden yhteydessä.



4.6. Funktion muoto ja muuttujat

4.6.1. Funktion valinnasta

Kun pyritään saamaan mahdollisimman hyvä selitys riippuvan muuttujan vaihteluille, on muuttujavalinnan ohella kiinnitettävä huomiota funktion muodon sopivuuteen kysymyksessä olevan ilmiön kuvaajana. Funktion muodon valinta on jossain määrin subjektiivinen, sillä yleispätevää keinoa ei tähän tarkoitukseen ole käytettävissä. Tutkittavana oleva ongelma antaa usein useimmiten tästä parhaat viitteet. Niinpä esim. maataloustuotannossa esiintyvä vähenevä tuottavuus merkitsee sitä, että tulisi käyttää funktiomuotoja, jotka antavat myös alenevan rajatuotoksen. Funktion todennäköistä muotoa voidaan tutkia mm. graafisen tarkastelun avulla, joskin useamman muuttujan funktiossa tämä on hankalaa. Useissa tutkimuksissa on käytetty menetelmää, jossa estimoidaan useita funktiomuotoja ja näistä valitaan tiettyjen kriteerien avulla tarkoitukseen sopivin.

Vähenevän rajatuottavuuden esiintyminen on asetettu erääksi lähtökohdaksi valittaessa naudanlihan tuotantoprosessin kuvaajaksi sopivaa funktiota. Simultaanista mallia lukuunottamatta valintamahdollisuuksia tässä suhteessa on useita. Lisäksi kohdassa 4.4. esitetyt muuttujien vaihtoehtoiset ilmaisutavat voivat asettaa erilaiset vaatimukset funktion muodolle.

Kuten kohdassa 4.4.1. esitettiin, simultaaninen malli rajoittaa funktion muodon valintaa, koska tavanomaisin menetelmin tapahtuva mallin estimointi edellyttää, että mallin funktiot ovat lineaarisia ensimmäisen asteen funktiota tai sellaisia, jotka voidaan muuntaa lineaarisiksi. Simultaanisten mallien yhteydessä yleisimmin käytetty lineaarinen funktiomuoto ei kyseessä olevan ongelman ratkaisussa tunnu mielekkäältä, koska sen antama rajatuotos on vakio. Sen sijaan mm. Cobb-Douglas tyyppinen funktio, joka linearisoituvana ensimmäisen asteen funktiona soveltuu mallin ratkaisuun, on joustavampi, sillä sen antama rajatuotos voi olla paitsi vakio myös joko kohoava tai aleneva.

Cobb-Douglas funktion ohella seuraavassa tarkastellaan lähemmin transcendenttista funktiomuotoa ja toisen asteen polynomia, joita on yleisesti käytetty maatalouden tuotantofunktioina ja jotka teoriassa ovat mahdollisia soveltaa edellä esitettyjen mallihypoteesien ratkaisuun. Ennen näitä mainittakoon kuitenkin hyperbelifunktio:

$$(1) \quad Y = \frac{aX}{b+X},$$

jota mm. IHAMUOTILA (1970) on soveltanut tutkimuksessaan typpilannoituksen vaikutuksesta maissisatoon. Funktio kasvaa hidastuen ja lähenee maksimia a , kun X lähenee ∞ .

SPILLMANin (1923) kehittämää eksponenttifunktiota

$$(2.) \quad Y = M - AR^X$$

on mm. NELSON (vrt. kohta 2.) on käyttänyt naudanlihan tuotantofunktiona. Funktiossa M = saavutettavissa oleva teoreettinen maksimituotos, A = panoksen X avulla aikaansaattavissa oleva kokonaistuotos ja R = vakio. Lisättäessä rajattomasti tuotantopanosta funktio lähenee maksimia M , jolloin rajatuotos lähenee arvoa 0 .

Cobb-Douglas funktio on seuraava:

$$(3.) \quad Y = aX^b$$

Regressiokerroimen b suuruuden mukaan funktion antama rajatuotos, joka saadaan kaavasta

$$(3.1.) \quad MPP = \frac{b}{X} \cdot Y$$

on joko kohoava ($b > 1$), vakio ($b = 1$) tai aleneva ($0 < b < 1$). Funktiolla ei ole äärellistä maksimikohtaa. Riippuvan muuttujan jousto panoksen suhteen on funktiossa sama kuin regressiokerroin eli

$$(3.2.) \quad E_X = b.$$

Cobb-Douglas funktiota ovat naudanlihan tuotantofunktiona käyttäneet mm. PLAXICO et.al. (1959) ja HEADY et.al. (1963).

Cobb-Douglas funktio on erikoismuoto transcendenttisesta funktiotyypistä, jossa lineaaritermien regressiokerroin = 0. Luonnollisessa logaritmijärjestelmässä tämä funktio on seuraava:

$$(4.) \quad Y = aX^b e^{cX}.$$

Transcendenttista funktiomuotoa ovat käyttäneet mm. KETTUNEN ja TORVELA (1970) maatalouden kokonaistuoton ja kustannusten välisen riippuvuussuhteen selvittämisessä. Funktion ominaisuuksia on yksityiskohtaisesti tarkastellut myös HALTER et.al. (1957). Funktio on joustava, sillä se antaa erilaisia rajatuottavuuksia riippuen regressiokerrointen suuruudesta. Rajatuotos saadaan kaavasta

$$(4.1.) \quad MPP = \left(\frac{b}{X} + c\right) \cdot Y.$$

Pisteessä, jossa

$$(4.2.) \quad X = -\frac{b}{c}$$

funktiolla on ääriarvo, joka on maksimi, jos $b > 0$ ja $c < 0$, ja minimi, jos $b < 0$ ja $c > 0$. Jos $b > 1$ ja $c < 0$ tai $0 < b < 1$ ja $c > 0$, on funktiolla käännepiste X :n arvolla

$$(4.3.) \quad X = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2c}.$$

Riippuvan muuttujan jouston panoksen X suhteen määrittelee yhtälö

$$(4.4.) \quad E_X = b + cX.$$

Toisen asteen polynomia

$$(5.) \quad Y = a + bX + cX^2$$

ovat naudanlihan tuotantoon soveltaneet mm. HEADY et.al. (1961 ja 1963) sekä VOGEL (1965a). Funktio on suhteellisen helposti tulkittavissa muuttujien lukumäärän ollessa pieni. Panosten luvun kasvaessa muuttujien lukumäärä funktiossa lisääntyy nopeammin ja tämä voi aiheuttaa sekä tulkinta- että sovellutusvaikeuksia. Funktio ei siten ole säästeliäs myöskään vapausasteiden suhteen. Funktion rajatuotos saadaan kaavasta

$$(5.1.) \quad MPP = b + 2cX$$

Kun regressiokerroin $c < 0$, rajatuotos on aleneva. Funktio saavuttaa tällöin maksimin pisteessä

$$(5.2.) \quad X = - \frac{b}{2cX},$$

jonka jälkeen panoksen lisääminen vaikuttaa tuotosta alentavasti.

Jos funktion muodon valinnan ensisijaisena lähtökohtana pidetään alenevan rajatuottavuuden esiintymistä, tämän ehdon täyttävät kaikki edellä mainitut funktiot. Naudanlihan tuotannossa on odotettavissa kuitenkin myös maksimin esiintyminen kohdassa, jossa eläimen kasvukyky on kokonaan käytetty hyväksi. Edellisistä funktioista transcendenttinen ja toisen asteen polynomi täyttävät tämän ehdon. Maksimi-kohta lienee lihantuotantoa ajatellen lähinnä teoreettinen. Tämä johtuu mm. siitä, että rasvan suhteellinen osuus tuotoksessa kasvaa iän mukana (esim. VARO 1969, s.5) ja tuotoksen laatu siten heikkenee. Maksimin määrittely on kuitenkin jo ongelma sinänsä, joka vaatisi monipuoliseen havaintoaineistoon perustuvaa tarkempaa selvitystä kuin mikä on mahdollista tässä yhteydessä. Tuotantotoiminta päättyy käytännössä myös yleensä ennen teoreettisen maksimin saavuttamista, joten maksimipisteen esiintymistä ei ole tämän tutkimuksen kannalta pidettävä ratkaisevana tekijänä funktion valinnassa. Käytetty havaintoaineisto ei myöskään näytä ulottuvan maksimiin saakka, koska kasvatuskausi ei ole ollut riittävän pitkä.

Edellä esitetyt näkökohdat, tutkimuksen suorittamistavan ja tutkimusaineiston luonteen huomioonottaen on Cobb-Douglas tyyppinen funktio katsottava riittäväksi kysymyksessä olevien riippuvuussuhteiden kuvaajana. Mallin rakenneyhtälöitä ei kuitenkaan voitu edellä (kohta 4.4.) muodostaa yksikäsitteisesti vaan muuttujien ilmaisutavan suhteen asetettiin vaihtoehtoisia hypoteeseja. Nämä vaihtoehdot voivat osaltaan vaikuttaa funktion muodon valintaan. Parhaan muuttujavaihtoehdon ja funktion muodon selvittämiseksi suoritettiin esitutkimus estimoimalla mallin C (kohdassa 4.4.2.) vaihtoehdot transcendenttista, Cobb-Douglas funktiota ja toisen asteen polynomia käyttäen. Tästä saatuja tuloksia tarkastellaan kohdassa 4.6.2.

4.6.2. Mallin muuttujat ja funktion muoto

Funktion muodon ja parhaimman muuttujien ilmaisutavan selvittämiseksi suoritettiin esitutkimus estimoimalla ns. kahden yhtälön mallin C (kohta 4.4.2.) syöntiaikayhtälö ja tuotosyhtälön muuttujavaihtoehdot 1., 2. ja 3. transcendenttisen funktion, Cobb-Douglas funktion sekä toisen asteen polynomin avulla. Estimoimalla malli C oletettiin siis, että mallin yhtälöt määräytyvät toisistaan erillisinä eikä endogeenisten muuttujien tuotoksen ja ajan välillä siten olisi simultaanista tai rekursiivista riippuvuutta. Estimointi suoritettiin aineiston kasvatusvaiheessa I alle 200 pv ikäisillä eläimillä. Tulosten perusteella voitiin todeta, että kaikki kolme funktiotyyppiä selittivät varsin hyvin sekä syöntiajan että tuotoksen vaihteluja ja niiden yhteiskorrelaatiokertoimet olivat lisäksi samaa suuruusluokkaa. Funktion muodon sopivuutta arvosteltiin tästä syystä lähinnä muuttujien regressiokertoimien loogisuuden ja merkitsevyyden perusteella. Tätä kriteeriä käytettiin myös tuotosyhtälön muuttujavaihtoehdon valinnassa.

Tuotosyhtälön muuttujavaihtoehdossa C 1 muuttujat energian ja sulavan raakavalkuaisen kokonaismäärä sekä vaihtoehdossa C 3 energian ja typen kokonaismäärä korreloivat voimakkaasti keskenään. Tähän mahdollisuuteen viitattiin jo kohdassa 4.3. tarkasteltaessa rehupanosta kuvaavien muuttujien luonnetta. Vaihtoehto C 2, jossa valkuaismuuttuja ilmaistaan rehun valkuaisväkevyytenä ja siten eräänlaisena energian laatua kuvaavana apumuuttujana, näytti sen sijaan mielekkäältä. Tämä johti vaihtoehtojen C 1 ja C 3 hylkäämiseen. Malliin jäi näinollen tuotosyhtälö C 2 sekä syöntiaikaa kuvaava yhtälö, joihin sisältyivät seuraavat lopulliseen tarkasteluun jäävät eksogeeniset muuttujat:

- X_1 = kuiva-ainemäärä, kgka
- X_2 = väkevyys, ry/100 kgka
- X_4 = energiamäärä, ry
- X_7 = valkuaisväkevyys, gsr/ry
- X_3 = eläimen alkupaino, kg
- D_{sk} = rotueroja kuvaava apumuuttuja

Tämän jälkeen tutkittiin kyseisten kolmen funktiomuodon soveltuvuutta syöntiajan ja tuotoksen estimointiin. Mukaan tulevien muuttujien luonteesta johtuen toisen asteen polynomi ei näyttänyt mielekkäältä. Tämän funktiomuodon antamat regressiokertoimet eivät tulleet merkitseviksi osittain selittävien muuttujien välisen multikolineaarisuuden vuoksi ja osittain myös siitä syystä, että vapausasteiden luku jäi pienemmäksi kuin muissa funktioissa.

Transcendenttifunktion antamien regressiokertoimien merkitsevyytaso jäi niinikään verraten heikoksi, sillä muuttujien lineaari- ja logaritmitermit korreloivat keskenään. Funktion antamia tuloksia tarkasteltaessa kiinnittyi huomio lähinnä energian apumuuttujaksi luonnehdittavan valkuaisväkevyyden (X_7) sekä syöntiaikayhtälössä väkevyyden (X_2) regressiokertoimiin, jotka antoivat näille muuttujille ääriarvot. Ääriarvojen esiintyminen näillä muuttujilla merkitsee sitä, että mainittujen muuttujien tietyt arvot joko minimoivat tai maksimoivat tietyn energiamäärän antaman tuotoksen ja vastaavasti tietyn kuiva-ainemäärän syöntiin kuluvan ajan. Tämä havainto teki aiheelliseksi lähemmän tarkastelun, jota varten malli estimoitiin käyttämällä ns. epätäydellistä transcendenttista funktiomuotoa, jossa valkuaisväkevyyden (tuotosyhtälö) ja väkevyyden (syöntiaikayhtälö) ovat logaritmisina ja lineaarisina ja muut muuttujat vain logaritmisina. Tämän funktiomuodon antamia tuloksia tarkastellaan tutkimuksen loppuosassa,

Sekä tuotosta että syöntiaikaa parhaiten kuvaavaksi osoittautui Cobb-Douglas tyyppinen funktio, jonka antamat regressiokertoimet olivat yleensä parhaiten merkitseviä. Näin oli myös muuttujien X_2 ja X_7 kohdalla, vaikka onkin mahdollista, että lineaaritermin puuttuminen voi vähentää näiden muuttujien sisältämää informaatiota ja vaikeuttaa tulosten tulkintaa.

5. Mallien parametrien estimaatit

5.1. Moniyhtälömallien A ja B parametrien Cobb-Douglas estimaatit kasvatusvaiheessa I, alle 200 pv

5.1.1. Estimointimenetelmät ja parametrien testaus

Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavaksi malliksi asetettiin edellä kolme hypoteesia, A simultaaninen, B rekursiivinen ja C kahden yhtälön malli. Eläimen kasvukausi on aineiston asettamisissa puitteissa jaettu tiettyjen kriteerien mukaan kolmeen kasvatusvaiheeseen (vrt. 4.5.). Havaintoja on I kasvatusvaiheen ajalta eli alle 200 pv ikäisistä eläimistä eniten (47 kpl) ja aineisto kokonaisuudessaan on tämän vaiheen osalta yhtenäisin. Mainituista syistä mallit katsottiin parhaimmaksi testata I kasvatusvaiheessa. Loogisimmaksi osoittautuvalle mallille estimoidaan tämän jälkeen parametrit kasvatusvaiheessa II, yli 200 pv ja III, yli 365 pv. Ennen mallihypoteesien testaamista tarkastellaan kuitenkin estimoinnissa sekä estimaattien arvoselussa käytettyjä menetelmiä ja testejä.

Käytettäessä pienimmän neliösumman menetelmää edellytetään funktion häiriötermin täyttävän seuraavat vaatimukset:

$$E(u_i) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$E(u_i u_j) = \begin{cases} 0, & \text{kun } i \neq j; \\ \sigma^2, & \text{kun } i = j; \end{cases} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

Harhattomien estimaattoreiden saaminen edellyttää siten, että häiriötermi on normaalisti jakautunut, sen odotusarvo = 0, se ei ole autokorreloitunut ja että sen varianssi on vakio. Lisäksi edellytetään, että häiriötermi ei ole häiritsevästi korreloitunut selittävien muuttujien kanssa (esim. JOHNSTON 1972, ss.11-13 ja s.342). Simultaanisissa moniyhtälömalleissa on selittävinä muuttujina endogeenisiä muuttujia. Voidaan osoittaa, että nämä korreloivat häiriötermin kanssa, jolloin pienimmän neliösumman menetelmällä saadut mallin estimaattorit ovat harhaisia otosten suuruudesta riippumatta (JOHNSTON 1972, s.343). Moniyhtälömallien, lähinnä simultaanisten

mallien yhteydessä on tästä syystä käytettävä muita estimointimenetelmiä, joilla selittävän endogeenisen muuttujan ja häiriötermin välistä korrelaatiota voidaan vähentää. Käytettävissä on useita menetelmiä, joista viitataan esim. JOHNSTONin (1972) esitykseen ss.380-400. Tässä tutkimuksessa käytetään kahden vaiheen pienimmän neliösumman menetelmää (TOLS). Estimointi tapahtuu TOLS menetelmällä kahdessa vaiheessa siten, että mallin rakenneyhtälöiden selittäville endogeenisille muuttujille lasketaan aluksi regressioarvot ns. redusoidusta muodosta, jossa ovat selittäjinä kaikki yhtälösystemin ennaltamääräytyneet muuttujat. Toisessa vaiheessa estimoidaan rakenneyhtälöt uudelleen käyttämällä endogeenisina selittävinä muuttujina redusoidusta muodosta laskettuja arvoja.

Rekursiivisen mallin (B) ja kahden yhtälön mallin (C) estimointiin käytetään pienimmän neliösumman menetelmää. Tämä menetelmä soveltuu myös rekursiivisen mallin estimointiin (esim. JOHNSTON 1972, ss.376-378). Mahdollisen korrelaation vähentämiseksi B mallin funktioiden residuaalien välillä käytetään selittävänä endogeenisena muuttujana havaintoarvojen sijasta kuitenkin edellisestä yhtälöstä laskettuja arvoja.

Mallihypoteeseja ja niiden parametrien estimaatteja arvostellaan tavanomaisia testisuureita käyttäen. Estimointituloksen hyvyyden ja funktioiden selityskyvyn kuvaajana käytetään yhteiskorrelaatiokertoimen neliötä R^2 , joka osoittaa kuinka suuren osan funktio selittää riippuvan muuttujan koko varianssista. Lisäksi esitetään funktioiden residuaalien standardipoikkeamat (s_j). Regressiokertoimien (b_j) merkitsevyyttä testataan t-testillä¹⁾ laskemalla ensin regressiokertoimien standardipoikkeamat (sb_j). Vertailujen suorittamiseksi toisaalta mallien toisaalta eri kasvatusvaiheissa saatujen estimaattien välillä tarkastellaan olennaisissa kohdin joustoja (vrt. kohta 4.6.1.), jotka ovat mittayksiköistä riippumattomia.

¹⁾ Merkitsevyytasoja kuvataan funktioissa seuraavasti:

xxx	=	erittäin merkitsevä,	99.9	%:n	luotettavuudella	≠	0
xx	=	merkitsevä	, 99	"	"	"	"
x	=	melkein merkitsevä	, 95	"	"	"	"

Tutkimuksessa käytetyn poikkileikkaustarkastelun vuoksi mallin havainnot ovat toisistaan riippumattomia. Residuaalit eivät näinollen korreloi keskenään. Jos residuaalit olisivat autokorreloituneita, tämä voisi vaikuttaa mm. regressiokerrointen standardipoikkeaman suuruuteen (JOHNSTON 1972, s.246), eikä t-testiä voitaisi käyttää yllä esitetyllä tavalla. Havainnollisuuden vuoksi esitetään kuitenkin d-arvot (DURBIN-WATSON 1950 ja 1951), joskaan niitä ei tässä käytetä residuaalien autokorrelaation testaamiseen. Cobb-Douglas funktiot samoinkuin transcendenttifunktiot, joiden estimaatteja tarkastellaan tutkimuksen loppuosassa, estimoidaan käytännöllisistä syistä 10-järjestelmän logaritmeilla, jolloin funktioiden yleinen muoto on seuraava:

Cobb-Douglas funktio:

$$\lg Q = \lg a + \sum_{i=1}^n b_i \lg X_i$$

Transcendenttifunktio:

$$\lg Q = \lg a + \sum_{i=1}^n b_i \lg X_i + \sum_{i=1}^n c_i X_i$$

5.1.2. Simultaanisen mallin A estimaatit

TOLS-menetelmä antoi mallin A parametreille seuraavat estimaatit:

$$(A\ 1) \lg Y = \overset{\text{xxx}}{-2.856} + \overset{\text{xxx}}{0.113} \lg T + \overset{\text{xxx}}{0.770} \lg X_4 + \overset{\text{xxx}}{0.744} \lg X_7 + \overset{\text{xxx}}{0.676} \lg X_3 + \overset{\text{xxx}}{0.057} D_{sk}$$

(0.542) (0.105) (0.081) (0.195) (0.158) (0.016)

$$R^2 = 0.986, \quad s_u = 0.034, \quad (d = 1.47)$$

$$(A\ 2) \lg T = \overset{\text{xxx}}{+2.158} + \overset{x}{0.290} \lg Y + \overset{xx}{0.352} \lg X_1 - \overset{\text{xxx}}{0.630} \lg X_2 - \overset{\text{xxx}}{0.182} \lg X_3 - \overset{\text{xxx}}{0.018} D_{sk}$$

(0.382) (0.138) (0.103) (0.116) (0.130) (0.013)

$$R^2 = 0.996, \quad s_u = 0.018, \quad (d = 1.75)$$

Funktioiden selityksasteet olivat korkeat. Tuotosfunktion A 1 selittävien muuttujien regressiokertoimet, aikaa (T) lukuunottamatta, olivat erittäin merkitseviä. Ry-määrän (X_4) ja valkuaisväkevyyden (X_7) kertoimet näyttävät loogisilta samoinkuin eläimen alkupainon (X_3) regressiokerroin. Viimemainittu tukee myös aikaisemmin saatuja tuloksia siitä, että syntymäpainon ja tuotoksen välillä on positiivinen riippuvuus (mm. LINDSTRÖM 1970, s.6). Elopainotuotoksen joustoksi painon suhteen saadaan yhtälöstä +0.68. Apumuuttuja (D_{sk}) kuvaa eroja Ayrshiren ja Suomen karjan välillä. Sen regressiokerroin on positiivinen ja erittäin merkitsevä, mikä voidaan tulkita lähinnä niin, että elopainotuotoksen suhteen Suomen karjan rehun hyväksikäyttökyky on parempi kuin Ayrshirerodun. Tämä on ristiriidassa eräiden koetulosten kanssa (esim. LARPES 1963, s.276), joskaan täysin sitovasti ei liene osoitettu näiden rotujen keskinäistä paremmuutta rehunkäyttäjinä.

Syöntiaikaa yhtälössä A 2 selittävistä muuttujista rehun kuiva-aineen määrän (X_1) regressiokerroin on merkitsevä ja looginen sekä väkevyyden (X_2) kerroin erittäin merkitsevä ja positiivinen. Rehun väkevyyden nostaminen vaikuttaa siten kuiva-aineen syöntiaikaa lyhentävästi. Eläimen alkupainon (X_3) vaihteluilla ei sensijaan näytä olevan merkitsevää vaikutusta tietyn rehumäärän syöntiin kuluvan ajan pituuteen. Negatiivisena kerroin on kuitenkin looginen. Tässä kohdin rotujen välillä ei esiintynyt merkitseviä eroja.

Mallin A estimaatteja tarkasteltaessa voidaan kuitenkin todeta, että tulos ei tue hypoteesia simultaanisen riippuvuuden esiintymisestä naudanlihan tuotantoprosessissa. Yhtälön A 1 selittävän endogeenisen

muuttujan, syöntiajan (T), regressiokerroin ei ole merkitsevä ja tuotoksen (Y) kerroin yhtälössä A 2 on merkitsevä vain 95 %:n luotettavuudella. Kertoimien etumerkit ovat lisäksi hypoteesin vastaiset. Ennakolta oli nimittäin odotettavissa, että syöntiajan lisäys vaikuttaisi negatiivisesti tuotoksen lisäykseen, koska kasvukyky heikkenee iän lisääntyessä. Se, että syöntiajan regressiokerroin on kuitenkin positiivinen voi johtua siitä, että tarkasteltavana on nuori eläinryhmä (alle 200 pv), jonka kasvukyky saattaa syntymän jälkeen aluksi parantua. On myös mahdollista, että oletettu kasvukyvyn heikkeneminen on lyhyellä ajanjaksolla niin vähäinen, että sen vaikutusta ei ole selvästi havaittavissa. Tuotoksen (Y) regressiokerroin yhtälössä A 2 ei myöskään ole positiivisena mielekäs, koska tuotoksen kasvu tällöin vaikuttaisi pidentävästi rehuannoksen syöntiaikaan. Koska tuotosmäärän kasvu merkitsee eläimen koon kasvua ja siis syöntikapasiteetin lisäystä, tuntuisi johdonmukaiselta, että tuotoksen lisäyksellä olisi tietyn rehumäärän syöntiaikaa lyhentävä vaikutus.

Eräs syy mallin simultaanisuudesta saatujen tulosten epäloogisuuteen lienee löydettävissä siitä, että selittävät endogeeniset muuttujat, tuotos ja syöntiaika, korreloivat voimakkaasti eräiden eksogeenisten muuttujien kanssa. Multikollineaarisuus on erityisen voimakas syöntiajan (T) ja rehuyksikkömäärän (X_4) välillä yhtälössä A 1 sekä tuotoksen (Y) ja kuiva-ainemäärän (X_1) välillä yhtälössä A 2 (vrt. liite 2). Mm. JOHNSTONin (1972, s.160) mukaan multikollineaarisuus vaikeuttaa korreloivien muuttujien erillisvaikutuksen selvittämistä. Muuttujien väliset korrelaatiokertoimet ovat tässä samaa luokkaa kuin mallin yhtälöiden yhteiskorrelaatiokertoimet (R). Tällaisessa tapauksessa esim. KLEIN (1965, s.64 ja 101) katsoo multikollineaarisuuden muodostavat ongelman tulosten analysoinnissa.

5.1.3. Rekursiivisen mallin B estimaatit

Mallin A estimointitulokset ei tukenut hypoteesiä siitä, että syöntiaika ja tuotos määräytyisivät tuotantoprosessissa simultaanisesti. Näiden selittävien endogeenisten muuttujien regressiokertoimien etumerkit olivat hypoteesin vastaisia, vaikkakin yhtälön A 2 selittävä muuttuja, tuotos (Y), osoittautui 95 % luotettavuudella merkitseväksi. Osasyyn tuloksen epäloogisuuteen lienee selittäjien välisessä korrelaatiossa. Tämä on aiheuttanut sen, että selittävien endogeenisten muuttujien erillisvaikutusta ei saatu näkyviin.

Estimoimalla malli B oletettiin ajan ja tuotoksen välinen riippuvuus yhdensuuntaiseksi siten, että tuotoksen vaihtelut vaikuttaisivat syöntiajan vaihteluihin. Päinvastaisen riippuvuuden, joka ei A mallissa osoittautunut merkitseväksi, hylkäämisellä haluttiin tutkia mallin estimaateissa tapahtuvia muutoksia. Estimoinnissa käytetään pienimmän neliösumman menetelmää siten kuin kohdassa 5.1.1. esitettiin. Mallin B estimaatit olivat seuraavat:

$$(B\ 1) \lg Y = \overset{\text{xxx}}{-2.775} + \overset{\text{xxx}}{0.851} \lg X_4 + \overset{\text{xxx}}{0.739} \lg X_7 + \overset{\text{xxx}}{0.657} \lg X_3 + \overset{\text{xxx}}{0.057} D^{\text{sk}}$$

(0.538) (0.030) (0.195) (0.157) (0.016)

$$R^2 = 0.985, \quad s_U = 0.034, \quad (d = 1.45)$$

$$(B\ 2) \lg T = \overset{\text{xxx}}{+2.264} + \overset{\text{x}}{0.302} \lg Y + \overset{\text{xx}}{0.338} \lg X_1 - \overset{\text{xxx}}{0.678} \lg X_2 - \overset{\text{xxx}}{0.183} \lg X_3 - \overset{\text{xxx}}{0.019} D^{\text{sk}}$$

(0.427) (0.144) (0.110) (0.135) (0.130) (0.013)

$$R^2 = 0.996, \quad s_U = 0.018, \quad (d = 1.75)$$

Siirtyminen mallista A malliin B näkyy selvimmin yhtälön B 1 regressiokertoimien estimaateissa. Ajan jättäminen pois selittävien muuttujien joukosta ei ole juuri lainkaan heikentänyt yhtälön selityskykyä, sitävastoin energian (X_4) regressiokerroin (ja jousto) on noussut +0.77:stä arvoon +0.85. Muutos johtunee siitä, että syöntiaika on mallissa A saattanut selittää osan energian aiheuttamasta tuotoksen vaihtelusta. Yhtälön B 1 antamaa energian regressiokerrointa onkin pidettävä simultaanimallin antamaa estimaattia luotettavampana.

Mallin muutoksen suurimmat vaikutukset rajoittuvatkin mainittuun seikkaan. Tuotosyhtälön B 1 muiden muuttujien regressiokertoimet ovat samaa suuruusluokkaa kuin mallissa A. Aikayhtälön B 2 estimaateissa ei myöskään tapahtunut mainittavia muutoksia verrattaessa niitä yhtälöön A 2. Kuten liitteestä 2 havaitaan, selittäjänä käytetty tuotos (Y) korreloi voimakkaasti kuiva-ainemäärän (X_1) kanssa. Ongelma on täältä osin sama kuin simultaanimallissa A, joten rekursiivinen malli ei tässä suhteessa osoittautunut A mallia loogisemmaksi.

5.2. Kahden yhtälön mallin C Cobb-Douglas estimaatit

5.2.1. Kasvatusvaihe I, alle 200 pv

Kohdassa 5.1. saatujen tulosten perusteella ei voitu sitovasti hylätä hypoteeseja simultaanisuudesta tai rekursiivisuudesta ajan ja tuotoksen välillä, sillä tulosten epäloogisuus johtui ainakin osittain siitä, että selittävä endogeeninen muuttuja korreloi eksogeenisten muuttujien kanssa.

Estimoimalla malli C oletetaan, että aika ja tuotos määräytyvät toisistaan erillisinä. Mallin muodostaa siten kaksi itsenäistä yhtälöä, joiden samanaikainen voimassaolo on kuitenkin edellytyksenä mallin täydellisyydelle. Kysymyksessä on tässäkin tapauksessa moniyhtälömalli, josta tässä yhteydessä käytetään nimitystä "kahden yhtälön malli" erotuksena varsinaisista simultaanisista ja rekursiivisista moniyhtälömalleista. Malli C etenee rekursiivisesta mallista B siten, että syöntiaikayhtälöstä jää pois selittävä endogeeninen muuttuja tuotos (Y). Tuotosyhtälö muodostuu tässä mallissa sensijaan samaksi kuin mallissa B. Kasvatusvaiheessa alle 200 pv pienimmän neliösumman menetelmä antoi seuraavat estimaatit:

$$(C\ 1)\ \lg Y = \overset{\text{xxx}}{-2.775} + \overset{\text{xxx}}{0.8511\lg X_4} + \overset{\text{xxx}}{0.7391\lg X_7} + \overset{\text{xxx}}{0.6571\lg X_3} + \overset{\text{xxx}}{0.0570}^{\text{sk}}$$

(0.538) (0.030) (0.195) (0.157) (0.016)

$$R^2 = 0.985, \quad s_u = 0.034, \quad (d = 1.45)$$

$$(C\ 2)\ \lg T = \overset{\text{xxx}}{+1.468} + \overset{\text{xxx}}{0.5681\lg X_1} - \overset{\text{xxx}}{0.4311\lg X_2} + \overset{\text{xxx}}{0.0241\lg X_3} + \overset{\text{xxx}}{0.0030}^{\text{sk}}$$

(0.204) (0.012) (0.069) (0.089) (0.009)

$$R^2 = 0.995, \quad s_u = 0.019, \quad (d = 1.88)$$

Syöntiaikayhtälössä C 2 tapahtuneet muutokset yhtälön B 2 estimaatteihin nähden ovat samansuuntaiset kuin ne muutokset, jotka tapahtuivat tuotosyhtälössä siirryttäessä simultaanisesta rekursiiviseen malliin. Kuiva-ainemäärän (X_1) regressiokerroin kohosi +0.338:sta arvoon +0.568 yhtälössä C 2 ja tuli erittäin merkitseväksi. Myös yhtälön muiden muuttujien kertoimissa tapahtui muutoksia, jotka eivät kuitenkaan vaikuttaneet kertoimien merkitsevyytasoon.

Siirtyminen mallista A malleihin B ja C ei mainittavasti heikentänyt funktioiden selityskykyä. Muuttujien regressiokerrointen merkitsevyytaso sen sijaan yleensä parani. Mallin C antamia estimaatteja on tästä syystä pidettäväkin luotettavimpina ja mallia C saatujen tulosten nojalla siten sopivampana kuvaamaan naudanlihan tuotantoprosessia kuin malleja A tai B.

5.2.2. Kasvatusvaihe II, yli 200 pv

Toiseen kasvatusvaiheeseen sisältyvä koe-eläinainees edustaa useita rotuja ja risteytyksiä. Mallin estimoimista roduiltain tai apumuuttujien käyttöä kullekin rodulle ei katsottu aineiston suppeus huomioiden mielekkääksi. Tästä syystä käytettiin vain yhtä apumuuttujaa kuten kasvatusvaiheessa alle 200 pv. Tässä apumuuttuja kuvaa kuitenkin eroja Suomen karjan ja muiden rotujen välillä, kun se kasvatusvaiheessa I kuvasi eroja Suomen karjan ja Ayrshirerodun välillä.

Kasvatusvaiheessa II mallin estimaatit muodostuivat seuraaviksi:

$$(C\ 3) \lg Y = -0.786 + \overset{\text{xxx}}{0.8811\lg X_4} + \overset{x}{0.2731\lg X_7} - \overset{\text{xxx}}{0.0071\lg X_3} - \overset{\text{xxx}}{0.0140} s_k$$

(0.512) (0.035) (0.134) (0.158) (0.015)

$$R^2 = 0.965, \quad s_u = 0.041, \quad (d = 1.64)$$

$$(C\ 4) \lg T = 0.221 + \overset{\text{xxx}}{0.8771\lg X_1} + \overset{x}{0.4911\lg X_2} - \overset{\text{xxx}}{0.6761\lg X_3} - \overset{\text{xxx}}{0.0110} s_k$$

(0.509) (0.042) (0.198) (0.146) (0.014)

$$R^2 = 0.966, \quad s_u = 0.039, \quad (d = 2.27)$$

Mallin selitysvoima on samaa luokkaa kuin kasvatusvaiheessa alle 200 pv (yhtälöt C 1 ja C 2). Tuotosta selittävästä muuttujista (yhtälö C 3) ry-määrä (X_4) osoittautui edelleen erittäin merkitseväksi. Valkuaisväkevyys sen sijaan ei näytä olevan yhtä voimakas tekijä kuin edellisessä kasvatusvaiheessa. Tämä johtunee siitä, että tuotosyksikköön tarvittavan kokonaisenergiämäärän lisääntyessä valkuaisen tarve on todennäköisesti tyydytettävissä jo suhteellisen alhaisella energian sisältämällä valkuaismäärällä.

Kyseisessä kasvatusvaiheessa alkupaino (X_3) kuvaa eläimen painoa ko. vaiheen alussa eli noin 200 pv iässä. Painon regressiokerroin, joskaan se ei ole merkitsevä, viittaa negatiivisena lisäkasvuvuon heikkenemiseen. Tulos on päinvastainen kuin kasvatusvaiheessa alle 200 pv. Tämä tuntuukin loogiselta, sillä eläimet, joiden kasvukyky on käytetty tehokkaammin hyväksi aikaisemmassa vaiheessa, kasvavat ilmeisesti jo heikommin kuin ne, joiden kasvua on "siirretty" myöhempään ajankohtaan. Merkitsevää eroa ei ilmennyt Suomen karjan ja muiden rotujen tai risteytysten välillä.

Syöntiaika (yhtälö C 4) riippuu erittäin merkitsevästi kuiva-aineen (X_1) määrästä. Rehunväkevyyden regressiokerroin on sitävastoin merkitsevä vain 95 %:n luotettavuudella. Vaikutussuunta eroaa myös kasvatusvaiheessa alle 200 pv saadusta. Tästä voitaisiin päätellä, että rehun väkevyyden kohottaminen vähentäisi kuiva-aineen syöntiaikaa kasvatuksen alussa, mutta lisäisi sitä eläimen myöhemässä kehitysvaiheessa. Tähän tulkintaan on suhtauduttava tietyin varauksin, koska mm. rehun väkevyyden vaihtelu aineiston eri kasva-

tusvaiheissa ei ole suhteellisesti yhtä laaja. On myös mahdollista, että funktion muoto ei tältä osin ole sopiva. Tähän kysymyseen antavat valaistusta kuitenkin jäljempänä esitettävät transcendenttifunktiot. Painon regressiokerroin muodostui erittäin merkitseväksi ja negatiivisena se voidaan tulkita myös mielekkääksi. Kuiva-aineen syönnin suhteen Suomen karja ei näyttänyt merkitsevästi eroavan muista roduista.

5.2.3. Kasvatusvaihe III, yli 365 pv

Toisistaan riippumattomia keskiarvohavaintoja oli käytettävissä yli vuoden ikäisistä eläimistä vain 12 kpl. Tässä ryhmässä oli pisimmän kasvatusjakson pituus 220 pv, joten kasvatusvaihe III peittää kasvatuskauden ikävälillä 365-585 pv. Mallin muuttujille saatiin seuraavat estimaatit:

$$(C.5) \lg Y = -1.837 + 0.0471 \lg X_4 + \overset{xx}{1.6471} \lg X_7 + 0.1021 \lg X_3 - 0.0110 \text{sk}$$

(1.822) (0.180) (0.437) (0.577) (0.026)

$$R^2 = 0.970, \quad s_u = 0.026, \quad (d = 1.72)$$

$$(C.6) \lg T = 1.235 + \overset{xxx}{0.8191} \lg X_1 - 0.0971 \lg X_2 - 0.5511 \lg X_3 + 0.0030 \text{sk}$$

(1.576) (0.085) (0.303) (0.368) (0.022)

$$R^2 = 0.989, \quad s_u = 0.021, \quad (d = 3.13)$$

Vapausasteiden niukkuus on eräänä syynä siihen, että muuttujien regressiokertoimien estimaatit eivät yleensä tulleet merkitseviksi vaikka yhtälöiden selitysasteet olivat samaa luokkaa kuin kasvatusvaiheissa I ja II. Luonnollisena selityksenä voi olla myös se, että myöhäisessä kasvatusvaiheessa mm. rehun määrää ja laatua indikoiden muuttujien vaihteluilla ei ole niin suurta vaikutusta tuotoksen tai syöntiajan vaihteluihin kuin kasvatuksen alkuvaiheissa tai että niiden vaihtelualue aineistossa ei ole ollut riittävän laaja.

Yhtälössä C 5 on olennaista, että energialla (X_4) ei näytä olevan juuri vaikutusta tuotoksen määrään (jousto + 0.05). Rehun valkuaisväkevyys (X_7) on puolestaan tullut merkitseväksi tuotosmäärän selittäjäksi. Koska X_7 :n jousto kuitenkin on huomattavan suuri (+1.65), näyttää tulos epäjohdonmukaiselta, kun tiedetään, että ravinnontarve on entistä enemmän energian eikä niinkään valkuaisen tarvetta, silloin kun eläin lähestyy täysi-ikäisyyttä.

Syöntiajan (yhtälö C 6) vaihteluita selittävästä muuttujista osoittautui merkitseväksi vain kuiva-ainemäärä (X_1). Väkevyyden (X_2) regressiokerroin on negatiivinen kuten I kasvatusvaiheessakin. Tämä osoittaisi sitä, että väkevyyden lisääminen lyhentäisi rehun syöntiin kuluvaa aikaa. Kerroin ei ole kuitenkaan merkitsevä. Myöskään painon (X_3) regressiokerroin ei ole tullut merkitseväksi. Kerroin on analoginen II kasvatusvaiheessa saadun estimaatin kanssa osoittaen, että eläimen paino ja syöntiaika korreloivat keskenään negatiivisesti. Suomen karjan ja muiden rotujen välillä ei ilmennyt merkitseviä eroja myöskään III kasvatusvaiheessa.

Koska havaintoja on tämän kasvatusvaiheen osalta suhteellisen vähän ja vapausasteiden luku näinollen jää pieneksi, on saatuja mallin estimaatteja tulkittava varauksin.

5.2.4. Kasvatusvaiheet I - III

Eläimen kasvukauden kolme vaihetta, alle 200 pv, yli 200 pv ja yli 365 pv, joita edellä on tarkasteltu, ulottuvat ketjuna aikaa kriteerinä pitäen syntymästä noin 1 vuoden 8 kuukauden ikään. Kokonaisuudessaan tämä ajanjakso ei näytä riittävältä, sillä viimeisen kasvatusvaiheen havaintoja tarkasteltaessa voidaan todeta, että eläinten kasvukykyä on vielä käyttämättä. Teoreettinen tuotantokausi on todennäköisesti pitempi, minkä selvittämiseen nyt käytetty aineisto ei kuitenkaan ollut riittävä.

Se, että tuotantokausi on jouduttu jakamaan useaan kasvatusvaiheeseen, vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja ennenkaikkea haittaa sovellutuksia esim. lihantuotannon suunnittelussa. Kasvatusvaiheittain estimoituja funktioita on pidettävä toisistaan erillisinä. Niiden pohjana oleva perusmateriaali ei ole samaa eikä esim. ruokinnan taso tai vaihtelualue ole sama kaikissa kasvatusvaiheissa. Kolmannessa kasvatusvaiheessa saatuihin estimaatteihin tulee lisäksi suhtautua varauksin siitä syystä, että havaintojen lukumäärä tässä oli pieni.

Esille tulleita häirtatekijöitä pyrittiin eliminoimaan siten, että malli estimoitiin koko sille kasvatusperiodille, jonka aineisto peittää eli ikävälille 0-585 pv. Tätä varten malliin sijoitettiin apumuuttujat kasvatusvaiheille yli 200 pv ja yli 365 pv seuraavasti:

$$D_{II}, \text{ II kasvatusvaihe} = 1, \text{ muut} = 0$$

$$D_{III}, \text{ III kasvatusvaihe} = 1, \text{ muut} = 0$$

Mallin estimaatit muodostuivat nyt seuraaviksi:

$$(C 7) \lg Y = -1.221 + 0.820 \lg X_4 + 0.453 \lg X_7 + 0.147 \lg X_3 + 0.014 D_{sk} - 0.304 D_{II} - 0.480 D_{III}$$

(0.320) (0.017) (0.084) (0.121) (0.011) (0.076) (0.102)

$$R^2 = 0.967, \quad s_u = 0.043, \quad (d = 1.60)$$

$$(C 8) \lg T = 0.357 + 0.728 \lg X_1 + 0.408 \lg X_2 - 0.523 \lg X_3 - 0.017 D_{sk} + 0.090 D_{II} + 0.189 D_{III}$$

(0.342) (0.020) (0.103) (0.133) (0.013) (0.084) (0.113)

$$R^2 = 0.959, \quad s_u = 0.048, \quad (d = 1.13)$$

Mallin yhtälöiden selityskyky oli samaa tasoa kuin kasvatusvaiheittain estimoitujen yhtälöiden. Yleispiirteenä voidaan todeta, että yhtälöiden rehupanosta kuvaavien muuttujien regressiokertoimet asettuivat yleensä "keskiarvotasolle" jos niitä verrataan estimaatteihin, jotka saatiin kasvatusvaiheittaisista funktioista. Niiden merkitsevyydestä oli yleensä myös hieman korkeampi kuin vaiheittaisista funktioista saatujen estimaattien.

Malli antoi viitteitä myös kasvatusvaiheitten välisistä eroista. Apumuuttujat D_{II} ja D_{III} osoittautuivat negatiivisiksi ja erittäin merkitseviksi yhtälössä C 7, mikä vahvistaa aikaisemmin esille tultua piirrettä, että tuotoskyky heikkenee myöhemmissä kasvatusvai-

heissa. Syöntiajan vaihteluihin kasvatusvaiheella ei sen sijaan näyttänyt olevan merkitsevää vaikutusta. Onkin todennäköistä, että lähinnä eläimen alkupaino (X_3) on selittänyt riittävästi vaiheittain esiintyviä syöntiajan eroja.

Lähempien vertailujen suorittamiseksi eri kasvatusvaiheissa saatujen estimaattien välillä on taulukkoon 1 kerätty mallin C keskeiset tunnusluvut. Taulukossa esitetään funktioiden regressiokerroimet ja niiden t-arvot sekä funktioiden selitysasteet, residuaalien standardipoikkeamat ja riippuvan muuttujan jousto¹⁾ panosten suhteen.

Taulukko 1. Mallin C muuttujien ja funktioiden tärkeimmät tunnusluvut.
Kasvatusvaiheet I, II ja III sekä I-III

Muuttujat	I alle 200 pv		II yli 200 pv		III yli 365 pv		I-III 0-585 pv	
	Regr. kerr.	t-arvo	Regr. kerr.	t-arvo	Regr. kerr.	t-arvo	Regr. kerr.	t-arvo
Riippuva muuttuja: tuotos lgY	Funktio C 1		Funktio C 3		Funktio C 5		Funktio C 7	
ry-määrä lgX_4	0.851	28.51	0.881	25.16	0.047	0.26	0.820	48.91
valk.väkev. lgX_7	0.739	3.79	0.273	2.04	1.647	3.77	0.453	5.38
el.alkupaino lgX_3	0.657	4.18	-0.077	-0.49	0.102	0.18	0.147	1.21
D_{sk}	0.057	3.55	-0.014	-0.92	-0.011	-0.43	0.014	1.22
D_{II}	-	-	-	-	-	-	-0.304	-4.02
D_{III}	-	-	-	-	-	-	-0.480	-4.72
R^2	0.985		0.965		0.970		0.967	
s_u	0.034		0.041		0.026		0.043	
jousto	+2.25		+1.08		+1.80		+1.42	
Riippuva muuttuja: aika lgT	Funktio C 2		Funktio C 4		Funktio C 6		Funktio C 8	
ka-määrä lgX_1	0.568	46.01	0.877	20.65	0.819	9.55	0.728	36.57
väkevyys lgX_2	-0.431	-6.23	0.491	2.48	-0.097	-0.32	0.408	3.95
el.alkupaino lgX_3	0.024	0.27	-0.676	-4.63	-0.551	-1.50	-0.523	-3.94
D_{sk}	0.003	0.29	-0.011	-0.77	0.003	0.12	-0.017	-1.29
D_{II}	-	-	-	-	-	-	0.090	1.07
D_{III}	-	-	-	-	-	-	0.189	1.68
R^2	0.995		0.966		0.989		0.959	
s_u	0.019		0.039		0.021		0.048	
jousto	+0.16		+0.69		+0.17		+0.61	

¹⁾ Joustoa laskettaessa apumuuttujia ei ole otettu huomioon.

Tarkasteltaessa mallin C antamia tuloksia kasvatuksen eri vaiheissa voidaan keskeiset havainnot tiivistää seuraavasti:

Mallin selityskyky osoittautui hyväksi kaikissa kasvatusvaiheissa, mistä antavat kuvan yhtälöiden selityskertoimet ja residuaalien standardipoikkeamat. Jousto ilmaisee riippuvan muuttujan %:n muutoksen, kun panokset muuttuvat 1 %:lla. Tuotoksen jousto panosten suhteen vaihteli +1.08 ja +2.25:n ja syöntiajan jousto vastaavasti +0.16 ja +0.69:n välillä.

Tuotosmäärää selittävät rehupanosmuuttujat, energian määrä ja energian valkuaispitoisuus, osoittautuivat merkitseviksi. Kasvatusvaiheessa yli 365 pv näiden regressiokertoimet ovat jossain määrin epäloogisia. Energian rajatuottavuus osoittautui alenevaksi. Valkuaisväkevyyden regressiokerroin osoittaa puolestaan, että energian sisältämän sulavan raakavalkuaismäärän kohottaminen lisää hidastuen tuotoksen määrää. Valkuaisväkevyyden on käsitettävä rehun laatua tuotannossa kuvaavana muuttujana, jolle yksinään ei ole mielekäästä laskea rajatuottavuutta. Valkuaisväkevyyden muutos ilmenee siten energian rajatuottavuuden tasomuutoksena.

Eläimen paino kasvatuksen alussa (syntymäpaino) korreloi positiivisesti tuotosmäärän kanssa. Toisessa ja kolmannessa kasvatusvaiheessa painon regressiokerroin ei ole enää merkitsevä. Painoerot näiden vaiheiden alussa ovat tällöin jo suurelta osin muista tekijöistä kuin syntymäpainon vaihteluista johtuvia.

Suomen karja osoittautui kasvatuksen alussa Ayrshirerotua merkitsevästi paremmaksi rehunkäyttäjäksi elopainotuotoksen määrällä mitattuna. Myöhemmissä vaiheissa ei merkitseviä eroja esiintynyt sk:n ja muiden rotujen tai risteytysten välillä.

Syönttiin kuluvan ajan riippuvuus rehun kuiva-aineen määrästä on erittäin merkitsevä. Kuiva-ainemäärän lisääminen lisää hidastuen syönttiin kuluva aikaa. Rehun väkevyyden vaikutus kuiva-aineen syöntiaikaan näyttää merkitsevältä kasvatuksen alkuvaiheissa, vaikkosen vaikutussuunnasta saatiin vaihtelevia tuloksia eri kasvatusvaiheissa. Funktion muoto saattaa tältä osin olla puutteellinen.

Syntymäpainon ja rehun syönttiin kuluvan ajan välillä ei ilmenyt merkitsevää riippuvuutta. Myöhemmissä kasvatusvaiheissa eläimen alkupaino (200 pv:n ja 365 pv:n iässä) sensijaan korreloi negatiivisesti syöntiajan kanssa. Rotujen väliset erot rehun syönnissä eivät tässä tutkimuksessa laajuudessa osoittautuneet merkitseviksi.

5.3. Transcendenttisen funktiomuodon antamat estimaatit mallille C

5.3.1. Yleistä

Tutkittaessa kohdassa 4.6.2. erilaisten funktiomuotojen sopivutta mallin C estimointiin viitattiin transcendenttisen funktiomuodon antamiin tuloksiin, jotka antoivat lisäselitystä eräistä rehupanosta kuvaavista muuttujista. Lineaaritermien ottaminen logaritmuunnosten ohella selittäjiksi osoitti, että energian valkuaispitoisuudelle (X_7) ja rehun väkevyydelle (X_2) saatiin regressiokertoimia, jotka viittasivat ääriarvojen esiintymiseen näillä muuttujilla. Ääriarvojen esiintyminen merkitsisi, että näiden muuttujien tietyt arvot antaisivat selitettävälle muuttujalle joko minimi- tai maksimi-arvon. Kun muuttujat X_7 ja X_2 kuvaavat lähinnä rehun ominaisuuksia, ilmenee ääriarvojen käytännöllinen merkitys siinä, että näin tiedetään se energian valkuaispitoisuus, joka maksimoi tai minimoi tietyllä energiamäärällä saadun tuotosmäärän ja vastaavasti se rehun väkevyyssaste, jolla tietyn kuiva-ainemäärän syöntiin kuluva aika on joko minimissä tai maksimissa.

Transcendenttifunktio sellaisenaan ei kuitenkaan osoittautunut sopivaksi, koska se ei muiden muuttujien osalta antanut Cobb-Douglas funktiota parempia estimaatteja ja koska regressiokertoimien estimaattien merkitsevyytaso jäi yleensä verraten alhaiseksi lineaari- ja logaritmitermien välisestä voimakkaasta multikollineaarisuudesta johtuen. Tästä syystä mallin estimointiin käytettiin ns. epätäydellistä transcendenttifunktiota, joka eroaa Cobb-Douglas funktiosta vain siinä, että selittäjinä ovat myös valkuaisväkevyyden (X_7) ja väkevyyden (X_2) lineaaritermit.

Seuraavassa esitetään nämä estimaatit mallille C. Edellä käsitellyistä Cobb-Douglas funktioista poiketen tarkastellaan aluksi tuotosfunktioita ja sen jälkeen syöntiaikafunktioita. Tällöin on kuitenkin muistettava, että niiden samanaikainen voimassaolo on edellytyksenä mallia sovellettaessa.

5.3.2. Transcendenttiset tuotosyhtälöt

Tuotosyhtälöt muodostuivat eri kasvatusvaiheissa seuraaviksi:

Kasvatusvaihe I, alle 200 pv

$$(C 9) \lg Y = 8.775 + 0.8771 \lg X_4 - 5.8541 \lg X_7 + 0.018 X_7 + 0.6381 \lg X_3 + 0.059 D_{sk}$$

(3.955)
(0.029)
(2.247)
(0.006)
(0.145)
(0.015)

$$R^2 = 0.986, \quad s_u = 0.031, \quad (d = 1.66)$$

Kasvatusvaihe II, yli 200 pv

$$(X 10) \lg Y = -5.193 + 0.8691 \lg X_4 + 2.8561 \lg X_7 - 0.008 X_7 + 0.0571 \lg X_3 - 0.009 D_{sk}$$

(2.723)
(0.035)
(1.574)
(0.005)
(0.154)
(0.015)

$$R^2 = 0.967, \quad s_u = 0.040, \quad (d = 1.68)$$

Kasvatusvaihe III, yli 365 pv

$$(C 11) \lg Y = 3.048 + 0.0881 \lg X_4 - 2.0391 \lg X_7 + 0.014 X_7 + 0.4971 \lg X_3 - 0.002 D_{sk}$$

(3.795)
(0.170)
(2.594)
(0.010)
(0.604)
(0.025)

$$R^2 = 0.978, \quad s_u = 0.025, \quad (d = 2.33)$$

Selityksasteet olivat hieman paremmat kuin vastaavien Cobb-Douglas funktioiden, mikä viittaa siihen, että kyseinen funktiomuoto olisi Cobb-Douglas funktiota sopivampi mallien estimoimiseen. Kuitenkin voitiin todeta, että lineaaritermin mukaanottaminen vaikutti alentavasti valkuaisväkevyyden (X_7) regressiokerrointen merkitsevyytasoon. Tämä johtunee lähinnä siitä, että muuttujien lineaari- ja logaritmitermi korreloivat keskenään, kuten nähdään liitteessä 4 esitetyistä muuttujien korrelaatiomatriiseista. Funktiomuodon muutos ei sensijaan vaikuttanut mainittavasti muiden selittäjien regressiokertoimiin tai kerrointen merkitsevyytasoon.

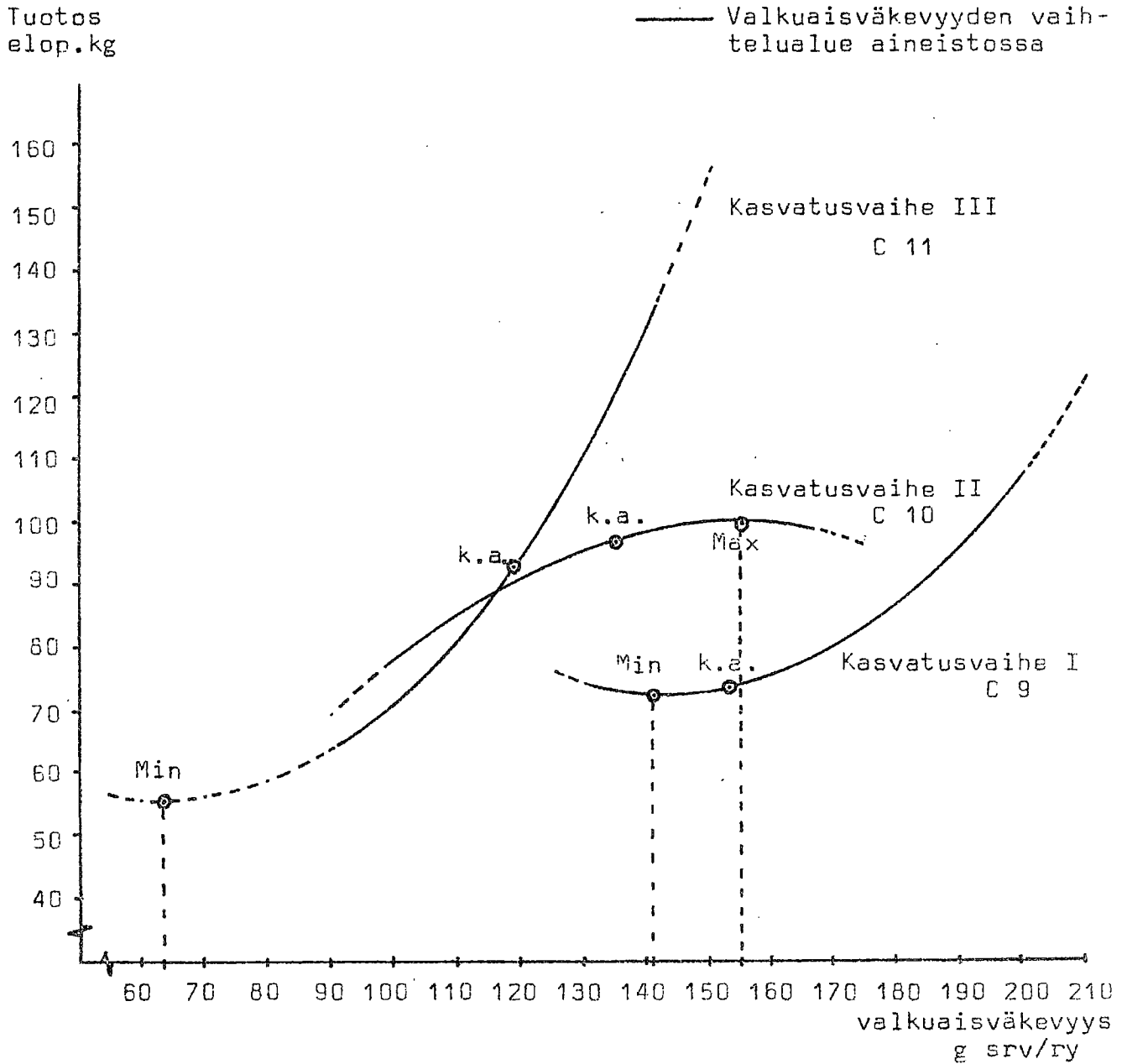
Kaikissa kolmessa kasvatusvaiheessa valkuaisväkevyydelle saatiin ääriarvo, joka kasvatusvaiheesta riippuen on joko minimi tai maksimi. Tulos merkitsee sitä, että energian valkuaispitoisuuden lisääminen ei lisää rajattomasti tuotost määrää kuten Cobb-Douglas funktion antamat estimaatit edellyttävät, vaan että tietyt muuttujan arvot antavat tuotokselle joko minimi- tai maksimiarvon. Valkuaisväkevyydelle saadut ääriarvot olivat eri funktioista seuraavat:

Funktio	Tuotoksen	
	minimi	maksimi
C 9, alle 200 pv	141 g srv/ry	-
C 10, yli 200 pv	-	155 g srv/ry
C 11, yli 365 pv	63 g srv/ry	-

Valkuaisväkevyyden vaihtelun vaikutus tuotoksen vaihteluihin näkyy lähemmin kuviosta 6, jossa funktion arvot on laskettu muiden panosmuuttujien keskiarvotasolla. Valkuaisväkevyyden vaihtelurajoina on käytetty aineiston ylintä ja alinta arvoa kussakin kasvatusvaiheessa. Vaihtelualuetta kuvaa käyrien yhtenäinen osa. Kuviosta 6 nähdään, että ensimmäisessä kasvatusvaiheessa tuotoksen määrä kasvaa kiihtyen lisättäessä energian valkuaispitoisuutta minimistä 141 g srv/ry. Toisessa kasvatusvaiheessa tuotos kasvaa hidastuen ja kääntyy laskuun sivuutettuaan maksimin 155 g srv/ry. Kolmannessa kasvatusvaiheessa tuotos kasvaa jälleen kiihtyen minimin 63 g srv/ry jälkeen, joka sijaitsee havaintoalueen ulkopuolella.

Käyrien muodon vaihteluun eri kasvatusvaiheissa on eräänä syynä jo edellä mainittu valkuaismuuttujan lineaari- ja logaritmi-termin multikollineaarisuus, joka voi helposti aiheuttaa muutoksia regressiokertoimien estimaatteihin (vrt. esim. JOHNSTON 1972, s. 160).

Kuvio 6. Tuotos valkuaisväkevyyden funktiona muiden muuttujien keskiarvotasolla. Transcendenttifunktiot C 9, C 10 ja C 11. Valkuaisväkevyyden keskiarvotaso (k.a.) ja ääriarvot on merkitty kuvioon.



5.3.3. Transcendenttiset syöntiaikayhtälöt

Syöntiaikafunktioiden saatiin kasvatusvaiheittain seuraavat estimaatit:

Kasvatusvaihe I, alle 200 pv

$$(C 12) \lg T = 1.004 + \overset{\text{xxx}}{0.5641} \lg X_1 - 0.1321 \lg X_2 - 0.002 X_2^2 + 0.0441 \lg X_3 + 0.003 D_{sk}$$

$$(1.046) (0.015) \quad (0.664) \quad (0.003)^2 \quad (0.100) \quad (0.009)^{sk}$$

$$R^2 = 0.995, \quad s_u = 0.019, \quad (d = 1.87)$$

Kasvatusvaihe II, yli 200 pv

$$(C 13) \lg T = \overset{x}{-13.024} + \overset{\text{xxx}}{0.7961} \lg X_1 + \overset{\text{xx}}{9.4901} \lg X_2 - \overset{x}{0.049} X_2^2 - \overset{\text{xxx}}{0.5471} \lg X_3 - \overset{\text{xxx}}{0.0050} D_{sk}$$

$$(5.206) (0.050) \quad (3.527) \quad (0.019)^2 \quad (0.144) \quad (0.013)^{sk}$$

$$R^2 = 0.972, \quad s_u = 0.036, \quad (d = 1.89)$$

Kasvatusvaihe III, yli 365 pv

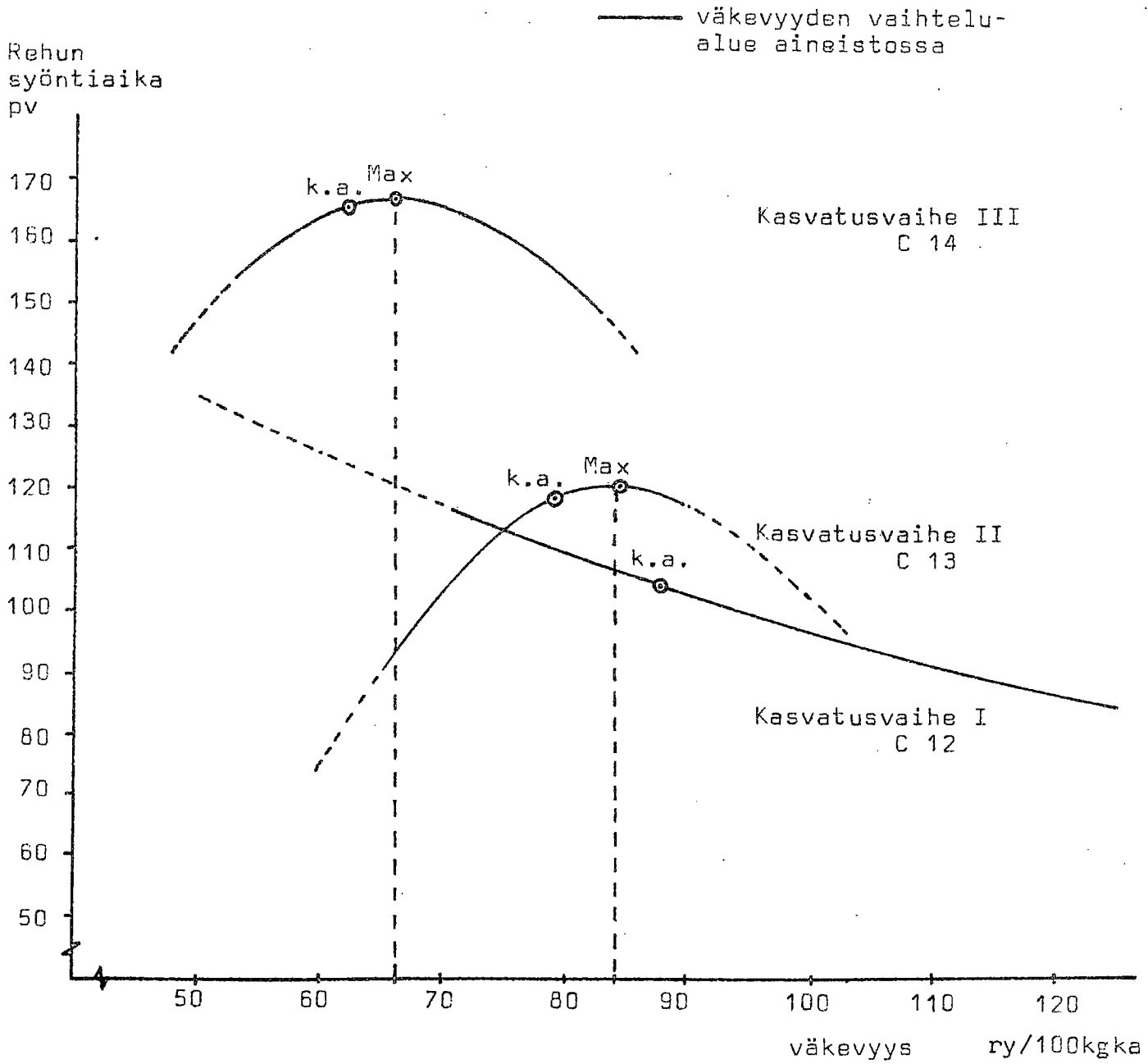
$$(C 14) \lg T = -4.560 + \overset{\text{xxx}}{0.8111} \lg X_1 + 3.6381 \lg X_2 - 0.024 X_2^2 - 0.3031 \lg X_3 + 0.0050 D_{sk}$$

$$(3.917) (0.078) \quad (2.367) \quad (0.015)^2 \quad (0.368) \quad (0.020)^{sk}$$

$$R^2 = 0.992, \quad s_u = 0.019, \quad (d = 3.11)$$

Funktioiden selityskyky oli samaa luokkaa tai hieman parempi kuin vastaavien Cobb-Douglas funktioiden. Funktiomuodon muutoksella ei ollut olennaista vaikutusta myöskään kuiva-ainemäärän (X_1), alkupainon (X_3) eikä rotumuuttujan (D_{sk}) regressiokertoimien estimaatteihin tai niiden standardipoikkeamiin. Oli myös havaittavissa, että väkevyyden lineaaritermin mukaanottaminen ei I kasvatusvaiheessa itse asiassa muuttanut tulosta, joka saatiin Cobb-Douglas funktiosta C 2. Sekä tämä että funktio C 12 osoittavat, että lisättäessä rehun väkevyyttä lyhenee kuiva-aineen syöntiaika hidastuen. Lineaari- ja logaritmitermien multikollineaarisuus aiheuttaa tässä estimoiduissa funktioissa samat ongelmat kuin edellä estimoitujen tuotosfunktioiden kohdalla (vrt. liite 4). Niinpä yhtälössä C 12 väkevyyden regressiokertoimet eivät olleet merkitseviä.

Kuvio 7. Rehun syöntiaika väkevyyden funktiona muiden muuttujien keskiarvotasolla. Transcendenttifunktiot C 12, C 13 ja C 14. Väkevyyden keskiarvotaso (k.a.) ja ääriarvot on merkitty kuvioon.



Kasvatusvaiheissa II ja III voitiin todeta, että transcendenttinen funktiomuoto on ilmeisesti väkevyyden kohdalla Cobb-Douglas funktiota sopivampi, sillä kertoimien merkitsevyydestä nousi vastaavista Cobb-Douglas estimaateista. Vaiheissa II ja III saatiin väkevyydelle maksimipisteet, jotka ovat seuraavat:

Funktio	Syöntiajan maksimi väkevyydellä
C 13, yli 200 pv	84 ry/100 kg ka
C 14, yli 365 pv	66 " "

Funktioiden muoto muuttujien keskiarvotasolla väkevyyden vaihdellessa näkyy lähemmin kuviosta 7. Väkevyyden kohottaminen lyhentää kuiva-ainemäärän syöntiaikaa I kasvatusvaiheessa. Sensijaan II ja III kasvatusvaiheessa syöntiaika aluksi lisääntyy hidastuen ja kääntyy maksimipisteen ohitettuaan laskuun.

5.4. Tulosten tarkastelua

Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaava malli estimoitiin tuotoksen määrän ja ajan riippuvuutena rehupanoksesta sekä eräistä eläinainekseen liittyvistä tekijöistä. Viimemainituista yksilöiden välisiä eroja kuvattiin eläimen painolla kasvatuksen alussa ja rotujen välisiä eroja apumuuttujalla, joka kuvasi eroja Suomen karjan ja toisaalta muiden rotujen ja risteytysten välillä. Estimointi suoritettiin poikkileikkausaineistosta.

Ratkaistaessa muodostetut mallivaihtoehdot voitiin todeta, että kahden yhtälön malli C, jossa tuotos ja rehun syöntiin kuluva aika määräytyvät erillään toisistaan, antoi estimaatit, jotka merkitsevyydestään ovat yleensä paremmat kuin moniyhtälömalleista

1) Täsmällisesti ilmaistuna kysymys ei ole eläinyksilöistä, sillä aineiston useimmat havainnot ovat kahden tai useamman eläimen muodostaman ryhmän keskiarvoja joskin myös yksilöhavaintoja aineistossa esiintyy.

A ja B ratkaistut. Toisaalta ei voitu sitovasti hylätä hypoteeseja siitä, että tuotoksen ja ajan välillä esiintyisi simultaaninen tai rekursiivinen riippuvuussuhde. Vaikeutena moniyhtälömallien A ja B antamia tuloksia analysoitaessa oli selittävän endogeenisen muuttujan korreloiminen muiden selittävien muuttujien kanssa.

Rehupanosta kuvattiin perusmuuttujilla rehuyhdistelmän energian (ry) ja rehuyhdistelmän kuiva-aineen määrä (kg ka) ja näiden laatua ja ominaisuuksia tuotannossa energian valkuaispitoisuudella (valkuaisväkevyydellä g srv/ry) ja rehun väkevyyssasteella (ry/100 kg ka). Viimemainitut ovat siten eräänlaisia perusmuuttujien ominaisuuksia indikoivia apumuuttujia, joiden vaikutus heijastuu toisaalta energian toisaalta kuiva-aineen rajatuottavuuden muutoksena.

Riippuvuussuhteiden kuvaajana osoittautui soveliaimmaksi Cobb-Douglas tyyppinen funktio. Tämän ohella estimoitiin funktiot, jotka rehun ominaisuuksia kuvaavien muuttujien (energian valkuaispitoisuus ja rehun väkevyyssaste) osalta olivat transcendenttiset. Viimemainitut funktiot antoivat lisäinformaatiota mainittujen muuttujien ominaisuuksista ja vaikutuksesta toisaalta ry:n tuotantovaikutukseen ja toisaalta rehun kuiva-aineen syöntiaikaan. Estimoinnin tuloksista voi todeta, että sekä elopainotuotoksen että rehun syötiin kuluva ajan vaihtelut voitiin selittää varsin hyvin. Selityssasteet vaihtelivat 0.959:n ja 0.996:n välillä. Tähän tulokseen päästiin käyttämällä vain keskeisiksi katsottuja rehupanoksen määrää ja ominaisuuksia kuvaavia muuttujia. Muuttujien regressiokerrointen estimaatit olivat yleensä merkitseviä ja niiden vaikutussuunta odotusten mukainen lukuunottamatta kasvatusvaihetta III (yli vuoden ikäiset eläimet), joissa havaintojen lukumäärä oli pieni. Tämän perusteella näyttää siltä, että mallin avulla voidaan verraten luotettavasti selvittää lihantuotannossa taloudelliselta kannalta keskeiset tuotosmäärä sekä tuotoksen aikaansaamiseen kuluva aika antamalla panosmuuttujille tietyt arvot. Malli antaa näin kiinnostuksen myös kasvunopeuden määrittämiseen.

Mallin etuna on se, että sovellutukset eivät rajoitu ruokintaan vain tietyllä suppealla rehuvalikoimalla, esim. 1-2 rehuaineella, vaan että panosten käyttöalue peittää lukuisan määrän ruokintaan soveltuvia rehuja. Puutteena useimmissa aiemmin laadituissa naudan-

lihan tuotantofunktioissa on ollut juuri se, että rehupanos koostuu vain tietyistä harvoista rehunimikkeistä (vrt. kohta 2). Näiden funktioiden avulla ei useista käytettävissä olevista tai käyttökel- poisista rehuista voida muodostaa esim. taloudellisesti edullisinta panoskombinaatiota. Toisaalta mallin sovellutusmahdollisuuksien li- säämiseksi tehdyllä ratkaisulla, mitata rehupanos koko rehuyhdistel- mää kuvaavilla indikaattoreilla, on tietyt haitalliset seuraukset. Käytetyt muuttujat saadaan todellisista panoksista vasta laskutoi- mitusten jälkeen, joten ne ovat jossain määrin abstraktisia ja hanka- lia käyttää. Tätä haittaa ei kuitenkaan voida välttää, jos erilaisia rehuaineita pyritään saattamaan keskenään yhteismitallisiksi. Sovel- lutuksia vaikeuttaa myös se, että eläimen kasvukausi jouduttiin jakamaan useaan peräkkäiseen vaiheeseen. Mallia sovellettaessa jou- dutaan tästä syystä suorittamaan ketjutuksia, jotka hankaluutensa lisäksi voivat tässä haitata myös tulosten luotettavuutta. Kasvatus- vaiheittaiseen jakoon päädyttiin siitä syystä, että käytetty aineis- to ei peittänyt yhtenäisenä eläimen koko kasvukautta.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin kasvatusvaiheittain energian ja kuiva-aineen rajatuottavuuksia, jotka ovat keskeisellä sijalla tuotannon optimin määräytymisessä. Samalla kiinnitetään huomiota tärkeimpiin mallin ratkaisussa esilletulleisiin havaintoihin ja pää- telmiin. Tarkastelu suoritetaan kussakin kasvatusvaiheessa muuttu- jien keskiarvotasolla (vrt. taulukko 2), jossa ennusteet ovat luo- tettavimmat (vrt. esim. JOHNSTON 1972, s.40). On lisäksi huomattava, että kukin kasvatusvaihe on verraten itsenäinen ja riippumaton muis- ta kasvatusvaiheista, joten sekä selitettävän muuttujan että rehu- panosta kuvaavien muuttujien, energian ja kuiva-aineen määrän lähtö- taso kunkin kasvatusvaiheen alussa = 0. Tarkastelu pohjautuu mallin C Cobb-Douglas estimaatteihin.

Taulukko 2. Naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavaan malliin sisältyvien muuttujien keskiarvotasoa. Rodut ja risteytykset keskimäärin.

		Kasvatusvaihe		
		allé 200 pv	yli 200 pv	yli 365 pv
Ikä kasvatuksen alussa pv		19.1	199.6	371.8
<u>Muuttujat:</u>				
Rehun kuiva-ainemäärä kg	X ₁	276.3	568.5	1198.0
Rehun väkevyys ry/100 kg ka	X ₂	87.8	79.2	62.2
Rehun energiasisältö ry	X ₄	239.3	448.4	740.3
Energian valk.pitoisuus g srv/ry	X ₇	152.5	133.9	119.1
Eläimen alkupaino elop. kg	X ₃	43.3	180.2	301.1
Tuotos elop. kg	Y	92.5	89.3	90.9
Aika pv	T	115.1	109.2	164.7

Koska mallin riippuvat muuttujat ovat tuotos ja aika, saadaan yhtälöiden antamat keskimääräiset ja rajasuureet esim. yksikköinä tuotos/kg/ry ja pv/kg kuiva-ainetta. Käytännössä nämä esitetään usein käänteismuodossa ry/tuotoskg ja kg kuiva-ainetta/pv.

Kasvatusvaihe I alle 200 pv:

Sijoittamalla muuttujien arvot yhtälöön C 1 saadaan tuotostuotoksen määrän estimaateiksi 98.8 kg Suomen karjalla ja 86.7 kg Ayrshire rodulla. Rotujen välinen ero oli erittäin merkitsevä. Energian keskimääräinen ja rajatuottavuus muodostuvat tällöin seuraaviksi:

	<u>Ay</u>	<u>Sk</u>
Keskim. tuottavuus elop. kg/ry	0.362	0.410
Rajatuottavuus "	0.308	0.352

Yhtälö C 2 antaa syöntiajan estimaateiksi vastaavin edellytyksin 115.3 pv Sk- ja 114.5 Ay-rodulla ja kuiva-aineen keskimääräiseksi ja rajasyöntiajaksi vastaavasti seuraavaa:

	<u>Ay</u>	<u>Sk</u>
Keskim. syöntiaika pv/kg ka	0.414	0.417
Rajasyöntiaika "	0.235	0.237

Tuotoksen ja syöntiajan estimaateista voidaan laskea keskimääräisen päivätuotoksen suuruus, joka muuttujien keskiarvotasolla on 757 g (Ay) ja 858 g (Sk) päivässä.

Syntymäpainon, jota mallissa kuvataan painolla 19 pv iässä, todettiin korreloivan positiivisesti ja erittäin merkitsevästi tuotomäärän kanssa tässä kasvatusvaiheessa. Muuttujien keskiarvotasolla painon rajatuottavuus on 1.501 Suomen karjalla ja 1.316 Ayrshire-rodulla. Painon nousu 1 kg:lla merkitsisi näinollen 1.3 - 1.5 kg nousua tuotoksen määrässä. Verrattaessa tulosta mm. LINDSTRÖMin (1970, s.6) esittämiin lukuihin sen voidaan todeta olevan samaa suuruusluokkaa.

Kasvatusvaiheen II, jossa eläimet edustavat ikäluokkaa yli 200 pv, yhtälöiden C 3 ja C4 antamat tuotokset ja syöntiajan estimaatit, niistä lasketut keskimääräiset päivätuotokset sekä ry:n ja ka:n keskimääräiset ja rajatuottavuudet ovat muuttujien keskiarvotasolla seuraavat:

		<u>Sk</u>	<u>Muut rodut ja risteytykset</u>
Tuotos	elop. kg	87.7	90.6
Syöntiaika	pv	107.7	110.5
Keskim. päivätuotos	g/pv	814	820
Keskim. tuottavuus	elop. kg/ry	0.196	0.202
Rajatuottavuus	"	0.172	0.178
Keskim. syöntiaika	pv/kg ka	0.189	0.194
Rajasyöntiaika	"	0.166	0.177

Erot rotujen välillä, siinä määrin kuin yhtälöiden avulla voitiin tutkia, eivät tässä kasvatusvaiheessa muodostuneet merkitseviksi. Eläimen painon vaihtelulla 200 pv iässä ei myöskään näytännyt olevan merkitsevää vaikutusta tuotoksen vaihteluihin. Sen sijaan syöntiaikaan painon vaikutus on erittäin merkitsevä, mikä tuntuukin loogiselta, koska painon nousu merkitsee syöntikyvyn lisääntymistä. Keskiarvotasolla painon rajatuottavuus -0.4 merkitsee, että painon nousu 1 kg:lla lyhentäisi kuiva-aineen syöntiaikaa lähes 1/2 vuorokaudella, kun muut tekijät pidetään muuttumattomina.

Kasvatusvaiheessa III saatiin yhtälöistä C 5 ja C 6 estimaatit, jotka mm. havaintojen niukkuudesta johtuen eivät yleensä tulleet merkitseviksi ja jotka olivat jossain määrin epäloogisia. Käyttämällä vaiheittaisen apumuuttujan avulla ikävähille 0-585 pv estimoituja yhtälöitä C 7 ja C 8 saadaan muuttujien keskiarvotasolla seuraavat estimaatit kasvatusvaiheelle III:

	<u>Sk</u>	<u>Muut rodut ja risteytykset</u>
Tuotos elop. kg	93.0	90.0
Syöntiaika pv	160.1	166.5
Keskim. päivätuotos g/pv	581	541
Keskim. tuottavuus elop. kg/ry	0.126	0.122
Rajatuottavuus "	0.103	0.100
Keskim. syöntiaika pv/kg ka	0.134	0.139
Rajasyöntiaika "	0.097	0.101

Kasvatusvaiheessa I, II ja III muuttujien keskiarvotasolla saadut tulokset yhdistämällä voidaan tarkastella kaavamaisesti mm. ry:n rajatuottavuutta ja kuiva-aineen rajasyöntiaikaa eläinten iän ja painon funktiona. Oheisessa asetelmassa ikä- ja painoluokitus on laadittu niin, että havaintoaineiston mukaiseen keskimääräiseen alkupainoon ja -ikään kunkin vaiheen alussa lisätään muuttujien keskiarvotasolla estimoidut tuotos ja aika. Asetelmassa on esitetty myös rajasuureista lasketut käänteisarvot. Tuloksia on pidettävä lähinnä suuntaa antavina.

Paino kg	Ikä pv	Rajatuotos		Rajasyöntiaika	
		kg/ry	ry/kg	pv/kg ka	kg ka/pv
135.8	134	0.31-0.35	3.2-2.9	0.24	4.2
269.5	309	0.17-0.18	5.9-5.6	0.17	5.9
392.0	537	0.10	10.0	0.10	10.0

6. Tutkimuksen tulosten sovellutuksista

6.1. Yleistä

Estimoitu naudanlihan tuotantoprosessia kuvaava malli muodostaa verraten tyypillisen tuotantofunktio tarkastelun. Tuotantoprosessin luonteen mukaisesti malli on kaksiosainen. Riippuvien muuttujien, tuotoksen määrän ja kasvatusajan pituuden, vaihtelut selitetään rehupanoksen määrää ja ominaisuuksia sekä eräillä eläinainesta kuvaavilla muuttujilla. Tuotosyhtälö muodostaa mallin varsinaisen perusosan, jonka puitteissa määräytyy teoreettinen taloudellinen optimikohta tuotoskäyrällä Kasvatuksen kesto aika, joka on estimoitu syöntiajan riippuvuutena käytetyistä tuotannontekijöistä, täsmentää mallia antaen kiinnepohdan kasvunopeuden määrittämiselle.

Käytetyt rehupanosmuuttujat ovat muodossa, joka vaikeuttaa mm. raja-arvojen käyttöä sellaisenaan tuotannon optimoimisessa. Rehun energialle esim. ei ole saatavissa yksikköhintaa vaan se joudutaan laskemaan tai arvioimaan käytettyjen rehuaineiden yksikköhinnoina. Toisaalta kuitenkin rehupanosta kuvaavien muuttujien valinta laajentaa mallin käyttömahdollisuuksia. Sopivalla rehujen valinnalla on esim. mahdollista muuttaa energian valkuaispitoisuutta energian kokonaismäärän ja rehun täyttävyyden/väkevyyden pysyessä silti samoina. Tämä mallin ominaisuus on tärkeä, kun tiedetään, että tuotantopanosten hinnat vaikuttavat tuotannon optimin määrääytymiseen. Rehujen valinnalla puolestaan voidaan vaikuttaa muodostettavan yhdistelmän yksikköhintaan. Kysymykseen tulevissa ratkaisuissa voidaan useissa tapauksissa soveltaa esim. lineaarista ohjelmointia, jota mm. juuri rehuseoksen muodostamisessa on käytetty suhteellisen paljon (esim. WAUGH 1951, Mc ALEXANDER ja HUTTON 1957, RAHMAN ja BENDER 1971 sekä WECKMAN 1972). Sovellutuksia ajatellen on huomattava, että mm. rehujen valkuaispitoisuus ja energia voivat vaihdella laajoissa rajoissa. Rehutaulukoiden käyttö sellaisenaan, ts. ilman rehuanalyysijä tapahtuva energian ja valkuaisen arviointi voi siten johtaa todellisuudesta poikkeaviin tuloksiin.

Mallin tarkoituksena on ollut kuvata naudanlihan tuotantoprosessia syntymästä kasvun päättymiseen ts. eläimen koko kasvukautta. Tutkimusaineisto ei ollut tähän kuitenkaan riittävä, sillä aineiston vanhimmat eläimet olivat iältään noin 20 kuukautta. Tämän ikäisillä eläimillä on tuotoskykyä vielä käyttämättä, joten kasvukauden loppua mallin avulla ei voitu kartoittaa. Tulosten käytön ja sovellutusten kannalta haitallisena on pidettävä, että eläimen kasvukautta ei voitu estimoida yhdellä kerralla. Riittävän pitkäaikaisten yhtenäisten havaintojen puuttuminen johti siihen, että kasvukausi jaettiin eläinten iän suhteen kolmeen peräkkäiseen kasvatusvaiheeseen. Kun tuotantoprosessi on yleensä verraten pitkä, on sovellutuksissa käytettävä kahta ehkä kolmea peräkkäistä funktiota ja yhdistettävä vaiheittain saadut estimaatit. Tämä tekee sovellutukset verrattain hankaliksi ja ennusteina saadut estimaatit virheille alttiiksi. Etäännyttäessä funktion keskiarvosta, jossa ennuste on luotettavin (JOHNSTON 1972, s.41 ja 152), ennusteen standardipoikkeama kasvaa. Useiden peräkkäisten funktioiden käytöstä on seurauksena, että joudutaan useaan kertaan estimoimaan havaintoalueen rajoilla, jolloin virheet kasautuvat.

Tutkimuksessa on voitu tarkastella osaa lihantuotantoon liittyvistä mikrotaloudellisista peruskysymyksistä. Mallin ulkopuolelle on kuitenkin jäänyt keskeisiä tekijöitä kuten lihan laatu elo/teuraspaino suhteen vaihtelut, eri sukupuolten ja suurelta osin rotujen, risteytysten sekä yksilöiden väliset erot. Tuotannon optimoimisen kannalta erityisen tärkeänä olisi pidettävä, että tuotoksen laatu voitaisiin liittää malliin sopivalla tavalla tuotokseen sisältyvänä. Käytännössä toteutettava lihan laatuhinnoittelu saattaa nimittäin vaikuttaa merkittävästi tavalla tuotannon optimimääräytymiseen. Lihan laadun muutos jossakin tuotannon vaiheessa aiheuttaa muutoksen ei vain viimeisen tuoteyksikön vaan koko tuotoksen yksikköhintaan. Tähän rinnastettava tuotannon optimitasoon vaikuttava tekijä on myös painoluokitukseen perustuva hinnoittelu, joka tuotannon suunnittelussa tulisi ottaa huomioon. Hinnan kohotessa painon funktiona tuotetun lisäkilon rajatuotto¹⁾ voidaan laskea esim. seuraavasta kaavasta:

¹⁾ Täsmällisesti ilmaistuna kysymys on erotustuotosta.

$$MP = P_1 + Q_2 (P_2 - P_1), \text{ jossa}$$

MP = rajatuotto

P_1 = tuotteen yksikköhinta määrällä Q_1

P_2 = " " " " Q_2

Q_1 = tuotosmäärä

Q_2 = tuotosmäärä $Q_1 + 1$ yksikköä

Jos lihan hinta painoluokassa 150 kg on esim. 7.54 mk/kg ja yhden kilon painon lisäys lisää yksikköhinnan 7.55 mk:aan, saadaan kaavasta painonlisäyksen rajatuotoksi 9.05 mk/kg. Tuotoksen lisäyksen aiheuttaessa yksikköhinnan alenemisen olisi tulos päinvastainen. Olettaen, että edellä olisi tapahtunut hinnan laskua 1 p/kg olisi rajatuotoksi muodostunut 6.03 mk/kg. Eri tekijöistä, joihin on luettava myös lihan hinnan kausivaihtelut, johtuva tuotteen yksikköhinnan nousu siirtäisi näinollen optimia tuotantokäyrällä oikealle ja hinnan lasku puolestaan vasemmalle.

Edellä on pyritty tuomaan esille tekijöitä, joilla esimoidun mallin ulkopuolella on vaikutusta tuotannon optimin määräytymiseen. Ne osoittavat, että optimin määrittäminen vaatii enemmän perustietoa kuin tässä on ollut käytettävissä. Toisaalta on kuitenkin todettava, että kyseessä on tuotannonala, jossa vaikuttaa myös satunnaisia ja ennalta-arvaamattomia tekijöitä. Satunnaiset hintojen vaihtelut, johtuvat ne sitten markkinatilanteen tai esim. lihan laadun muutoksista voivat herkästi muuttaa tuotannon rahallista lopputulosta. Ei voida sivuuttaa myöskään sitä tuotantoon liittyvää taloudellista riskiä, mikä liittyy eläimeen ja mikä on sitä suurempi mitä pitemmälle tuotoskäyrällä edetään. Optimi tuotantotasoa ei voitane määrittellä yleisesti, mutta esim. hintatilanteen seuraamisella ja ennakoinnilla voidaan lisätä varmuutta tehtävien ratkaisujen edullisuudesta.

6.2. Sovellutusesimerkki kahdella ruokintatavalla

Tulosten sovellutuksia on pyritty havainnollistamaan kaavamaisella esimerkillä. Tässä esitettävä sovellutus on eräs esimerkki mallin käyttömahdollisuuksista. Esimerkkitapauksessa lähdetään määrätystä ex post alkutilanteesta, jossa ruokintasuunnitelma on edeltä käsin määrätty ja mallin avulla pyritään siten selvittämään vain vaihtoehtoisten menettelytapojen keskinäinen paremmuus. Sovellutusmahdollisuudet ovat itse asiassa kuitenkin laajemmat, kuten edellä (6.1.) on jo osittain käynyt esille. Koska malli antaa estimaatit panosmuuttujien vaikutuksen suunnasta ja voimakkuudesta, sitä voidaan käyttää teoriassa apuna esim. rehuyhdistelmien muodostamisessa sellaisiksi, että ne ovat optimaalisessa suhteessa riippuvaan muuttujaan nähden. Esim. lineaarisen ohjelmoinnin (vrt. 6.1.) sovellutuksilla voidaan senjälkeen valita rehut, jotka edullisimmin täyttävät asetetut vaatimukset. Tässä tarkastellaan siis vain erästä mallin käyttömahdollisuutta.

Tarkasteltavana on seuraavassa esimerkissä kaksi eläintä ja kaksi toisistaan eroavaa suhteellisen yleiseksi katsottavaa ruokintatapaa. Tarkoituksena on määrittää tuotannon optimikohta sekä kasvatuksen taloudellinen tulos (katetuotto) kummallakin kasvatustavalla. Yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan, että lihan hinta pysyy koko kasvatuksen ajan vakiona. Ruokintasuunnitelmaa ja rehujen koostumusta on niinkään pidettävä hypoteettisina, joskin käytetyt rehuyhdistelmät lienevät lähellä yleisesti käytettyjä ruokintatapoja. Eläinten paino ja ikä kasvatuksen alussa oletetaan samaksi kuin tutkimusaineistossa. Panosten käytössä pyritään myös liikkumaan aineiston vaihtelurajojen sisäpuolella.

Tiedot eläimistä ja käytetyt rehut ovat seuraavat:

	<u>Ruokinta A</u> <u>Heinävaltainen</u>	<u>Ruokinta B</u> <u>Säilörehuvaltainen</u>
Rotu	Ay	Ay
paino, kg	43.3	43.3
ikä, pv	19	19
Rehut:	täysmaito	täysmaito
	kuorittu maito	kuorittu maito
	kaura	kaura
	heinä	heinä
	laidunrehu	laidunrehu
		säilörehu

Ruokintaan on sisällytetty myös laidunrehu. Koska laidunkausi ei sisältynyt käytettyyn tutkimusmateriaaliin, edellytetään laidunruokinnan tässä tapahtuvan vihantaruokintana navetassa.

Vasikat ovat syntyneet keväällä. Niiden alkuruokintaan sisältyy täysmaitoa ja kuorittua maitoa sekä pienessä määrin kauraa ja heinää. Ensimmäisenä kesänä kummallekin eläimelle annetaan vähän laidunrehua, minkä lisäksi ne saavat kauraa ja heinää (A) sekä kauraa ja säilörehua (B). Syksyllä ja talvikautena ruokinta perustuu kauraan ja heinään(A) sekä kauraan, säilörehuun ja pienessä määrin heinään(B). Toisena kesänä eläimet saavat vain laidunrehua. Syksyllä pääasiallisena ravintona on heinä (A) ja säilörehu (B). Rehun mukana eläinten edellytetään saadan tarvettaan vastaavasti kivennäisaineita ja vitamiineja.

Rehujen koostumus, joka perustuu yleisesti käytettyihin normeihin (mm. PALOHEIMO 1956), on esitetty oheisessa asetelmassa, josta ilmenevät myös rehujen yksikköhinnat. Markkinattomille rehuille on käytetty arvioituja tuotantokustannushintoja, täysmaito, kuorittu maito ja kaura on puolestaan hinnoiteltu vuoden 1973 hintojen mukaan.

	Korv. luku kg/ry	ry- arvo ry/kg	sr-val- kuainen % g/ry	kuiva- aine %	väkevyys ry/100 kg ka	yksikkö- hinta p/kg	p/ry
täysmaito	4.0	0.25	3.0 120	13	192.3	69.5	278.0
kuor. maito	9.0	0.11	3.1 279	9	123.5	10.0	90.0
kaura	1.3	0.77	8.7 113	87	88.5	42.0	54.0
heinä	2.3	0.43	5.8 144	80	54.3	-	40.0
laidun	6.5	0.15	2.5 163	22	69.9	-	36.0
säilörehu	7.0	0.14	2.3 161	22	64.9	-	40.0

Elopainotuotoksen ja rehun syöntiajan estimointiin käytetään mallin C kasvatusvaiheittain estimoituja funktioita (vrt. kohdat 5.2.1. - 5.2.3.). Kasvatusvaiheen III (yli 365 pv) osalta käytetään kuitenkin tuotosmäärän estimointiin koko kasvukaudelle (0-585 pv) estimoitua yhtälöä C 7. Kasvatusvaiheittain saadut tuotoksen ja ajan estimaatit yhdistetään kokonaistuotokseksi ja -ajaksi. Tätä varten on määriteltävä kriteerit, joiden puitteissa siirtyminen tapahtuu kasvatusvaiheesta seuraavaan. Tämä on ratkaistu esimerkissä niin,

että kunkin kasvatusvaiheen mallia sovelletaan siihen saakka kun eläin saavuttaa painon (= tuotos + 19 pv:n paino), joka on sama kuin seuraavan vaiheen keskimääräinen alkupaino aineistossa. Panosten kokonaismäärä sekä kokonaistuotoksen ja -ajan estimaatit koko tuotantoperiodin ajalta saadaan kumulatiivisena summana lisäämällä edellisen vaiheen viimeiseen havaintoon seuraavan vaiheen havainnot. Rehujen käyttö kussakin kasvatusvaiheessa on esitetty sekä lisäksi että kumulatiivisena summana liitteissä 5 ja 6.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty mallin antamat tuotoksen ja ajan estimaatit, näistä laskettu keskimääräinen päivätuotos (kasvunopeus), keskimääräiset ja rajasuureet sekä tuotantopanoksista (vrt. liitteet 5 ja 6) energian ja kuiva-aineen määrät. Tulokset on esitetty kumulatiivisina kasvatusvaiheittain sekä kasvatuksen alusta. Viimemainituista luvuista on laskettu keskimääräiset ry:n tuottavuus ja kuiva-aineen syöntiaika. Rajasuureet, -tuotos ja -syöntiaika on sensijaan laskettu kasvatusvaiheittain.

Kuviossa 8 on esitetty kummankin eläimen tuotos ry-määrän ja kuviossa 9 rehun syöntiin kulunut aika kuiva-ainemäärän funktiona. Kuvioista 10 ja taulukosta 5 on puolestaan nähtävissä tuotannon optimipisteet asetettujen edellytysten ollessa voimassa. Tällöin on edellytetty, että teuraspainon osuus on 47 % elopainosta ja teuraspainokilon hinta 7.54 mk, mikä vastaa naudanlihan keskimääräistä tavoitehintaa 1.5.1973 lähtien.

Tuotannon optimi saavutetaan kohdassa, jossa rajatuotos on yhtä suuri kuin panoksen ja tuotoksen yksikköhintojen suhde (vrt. myös kohta 3.2.). Kun malli antaa tuotoksen elopainokiloina, on suoritettava muunnos arvioidun teurastusprosentin perusteella. Kuviossa 10 esitetty rajatuotos on laskettu mallin tuotosyhtälöistä ja hintasuhde on tästä syystä esitetty ry:n hinnan suhteena elopainokilon hintaan. Samaan lopputulokseen päästään myös tekemällä muunnos päinvastoin kuten taulukossa 5 eli vertaamalla muunnettua rajatuotosta (teuraspainokg/ry) ry:n ja lihan hintasuhteeseen.

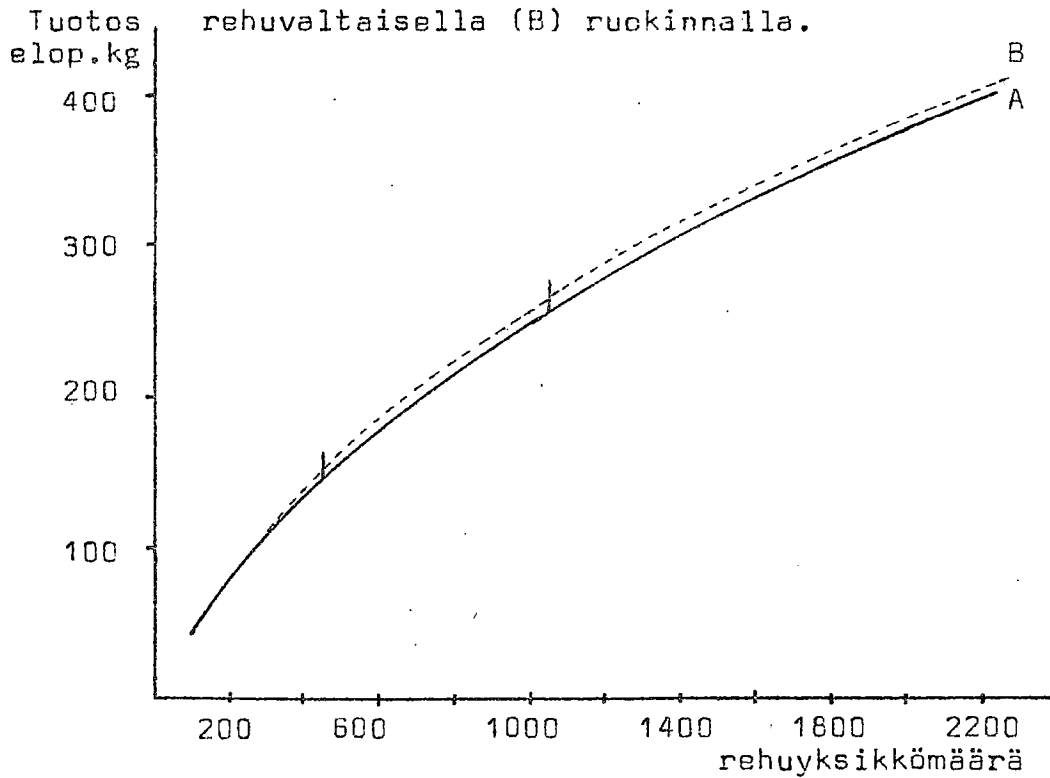
Taulukko 3. Heinävaltainen ruokinta A

ry-määrä kumulat.		ka-määrä kumulat.		Tuotos kg elopainoa kumulat.		Estimeatit		Keskimmääräinen		Raja-		Keskim. kasvunopeus
Kasvatusvaiheittain	Kasvat. alusta	Kasvatusvaiheittain	Kasvat. alusta	Kasvatusvaiheittain	Kasvat. alusta	Kasvatusvaiheittain	Kasvat. alusta	tuotos g/ry	syönti-aika pv/kgka	tuotos g/ry	syönti-aika pv/kgka	I-III
I.	I-III	I	I-III	I	I-III	I	I-III	I-III	I-III	I	I	I-III
97	97	106	106	44.1	44.1	64.9	64.9	455	0.612	387	0.348	680
291	291	397	397	101.3	101.3	151.2	151.2	348	0.381	296	0.216	670
371	371	515	515	123.6	123.6	176.6	176.6	333	0.343	284	0.195	700
418	418	585	585	136.4	136.4	190.5	190.5	326	0.326	278	0.185	716
452	452	635	635	145.9	145.9	199.9	202.7	323	0.319	274	0.178	720
								286	0.274	189	0.166	725
								267	0.251	178	0.155	728
								248	0.229	170	0.146	729
								244	0.224	168	0.144	729
								239	0.222	148	0.141	714
								228	0.212	126	0.137	701
								209	0.202	111	0.121	686
								195	0.185	106	0.112	691
								187	0.178	104	0.107	694
								180	0.172	101	0.104	696

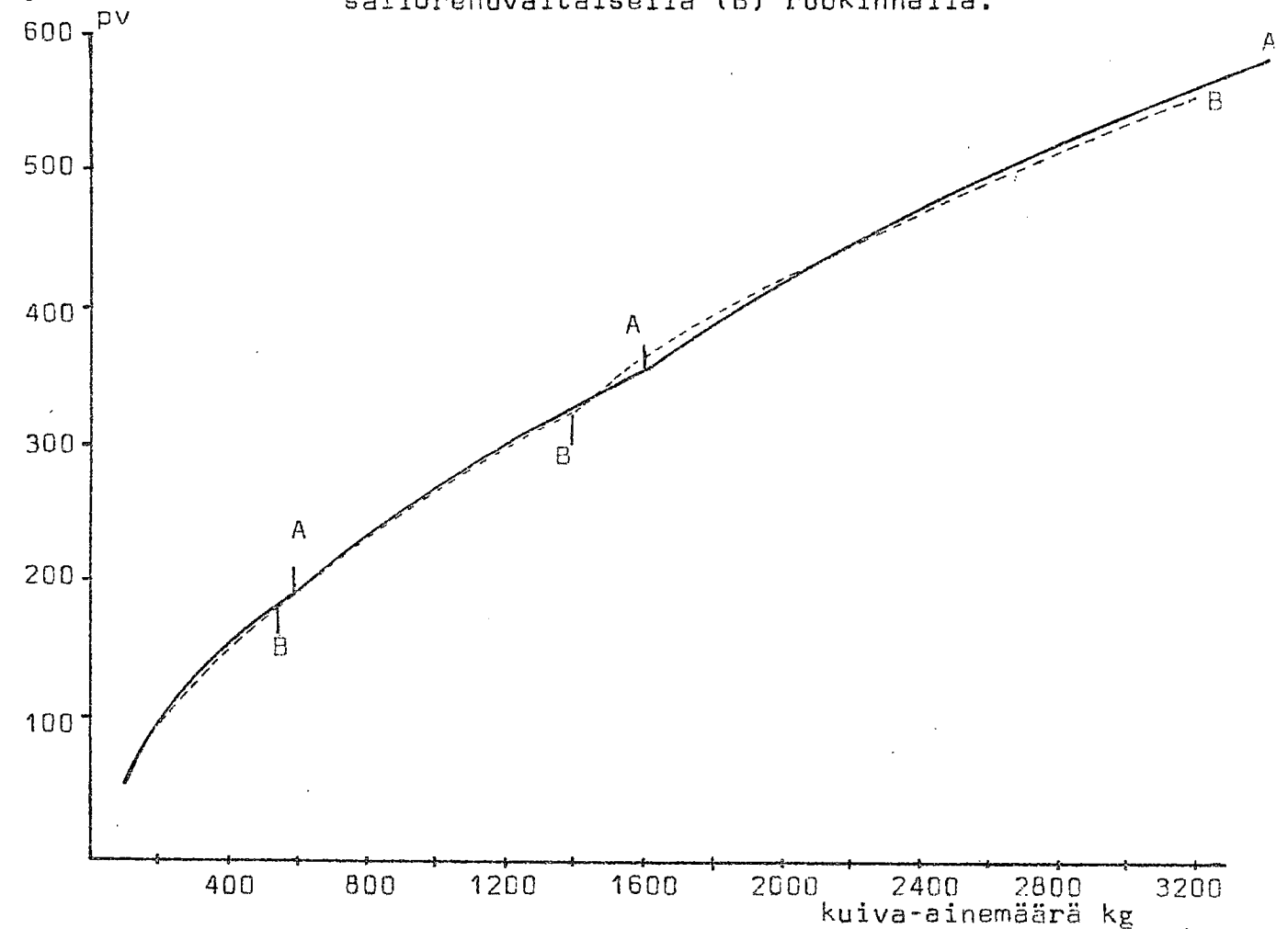
Taulukko 4. Säilörehuvaltainen ruokinta B.

ry-määrä kumulat.		ka-määrä kumulat.		Estimaatit				Keskimääräinen		Raja-		Keskim.
Kasvatus- vaiheittain	Kasvat. alusta	Kasvatus- vaiheittain	Kasvat. alusta	Tuotos kg elopainoa kumulat. Kasvatus- vaiheittain	Kasvat. alusta	Syötiin kuluva aika pv kumulat. Kasvat. vaiheittain	Kasvat. alusta	tuotos g/ry	syönti- aika pv/kgka	tuotos g/ry	syönti- aika pv/kgka	kasvuno- peus
I	I-III	I	I-III	I	I-III	I	I-III	I-III	I	I	I	I-III
97	97	106	106	44.1	44.1	64.9	64.9	456	0.612	387	0.348	680
291	291	385	385	105.1	105.1	146.6	146.6	361	0.381	307	0.216	717
371	371	500	500	128.3	128.3	171.5	171.5	346	0.343	294	0.195	748
401	401	543	543	136.9	136.9	180.1	180.1	341	0.332	291	0.188	760
451	451	615	615	150.9	150.5	193.9	196.7	334	0.320	285	0.179	765
250	651	899	899	55.6	192.5	69.2	249.3	296	0.277	196	0.170	772
400	801	1112	1112	84.1	221.0	104.5	284.6	276	0.256	185	0.161	777
600	1001	1396	1396	119.6	256.5	149.1	329.2	256	0.236	176	0.153	778
750	1151	1609	1609	146.1	283.3	181.4	368.7	246	0.229	147	0.135	768
400	1401	1964	1964	60.0	316.5	88.5	417.7	226	0.213	123	0.128	758
550	1551	2177	2177	77.9	334.4	114.9	444.1	216	0.204	116	0.107	753
850	1851	2607	2607	113.3	369.8	164.5	493.8	200	0.189	109	0.099	749
1050	2051	2893	2893	136.1	392.6	195.8	525.0	191	0.181	106	0.095	747
1250	2251	3179	3179	157.0	413.5	225.9	555.1	184	0.176	103	0.092	745

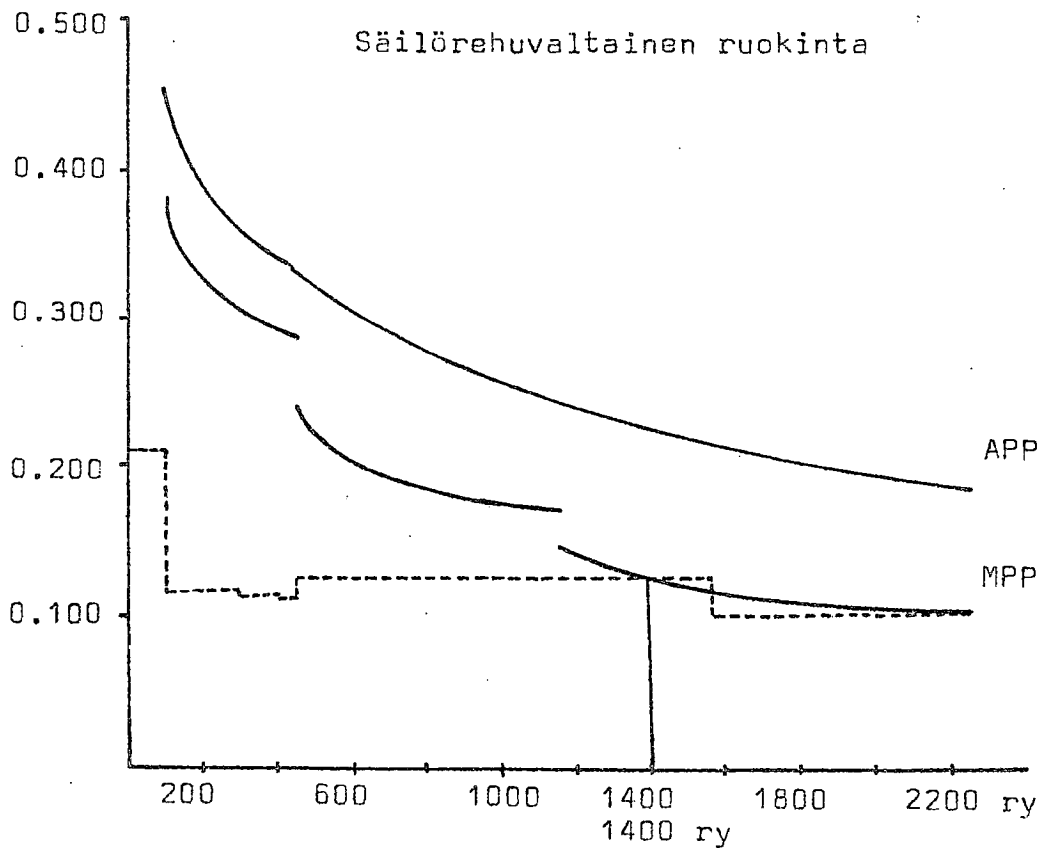
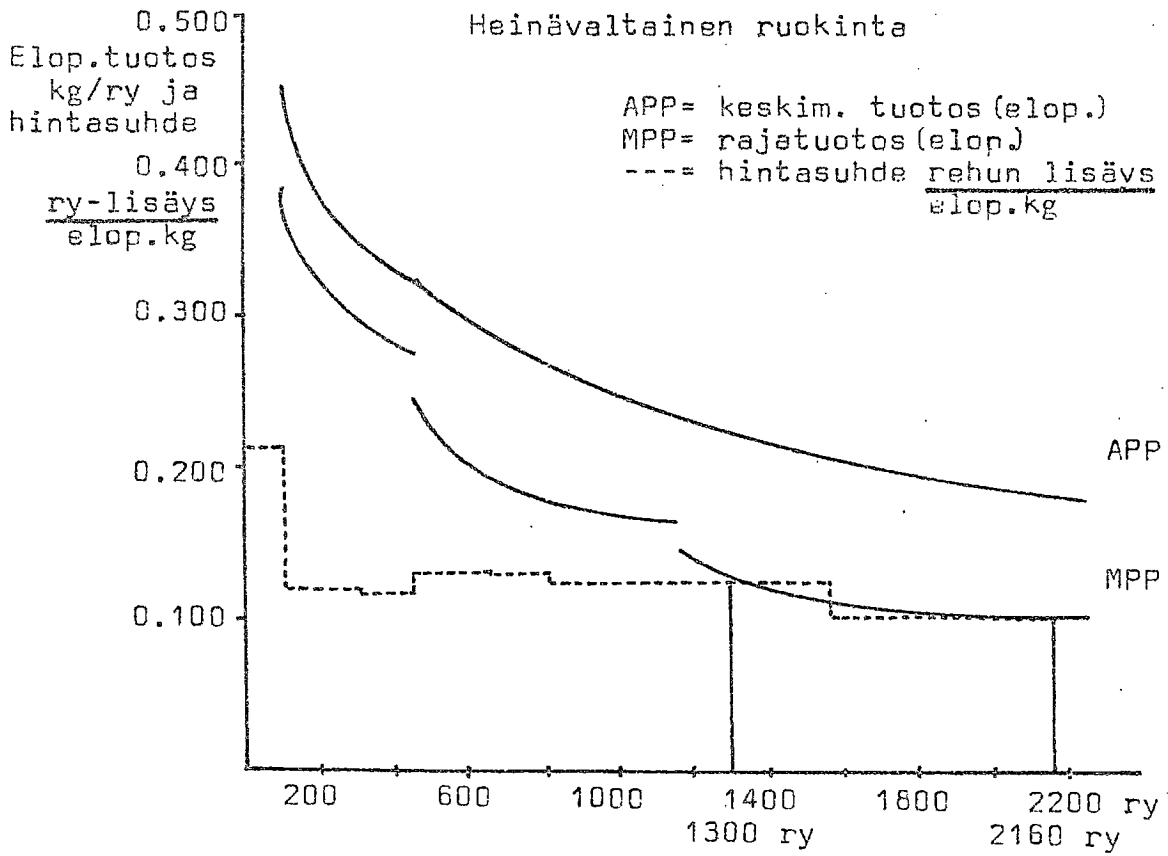
Kuvio 8. Elopainon tuotoskäyrät heinävaltaisella (A) ja säilörehuvaltaisella (B) ruokinnalla.



Kuvio 9. Kuiva-aineen syöntiaika heinävaltaisella (A) ja säilörehuvaltaisella (B) ruokinnalla.



Kuvio 10. Tuotannon optimin määräytyminen. Ry:n keskimääräiset ja rajatuottavuudet sekä ry-lisäyksen ja elopainokilon hinnan (47/100x lihan hinta) suhde.



Taulukko 5. Tuotannon optimikohdan määräytyminen kasvatusesimerkeissä.¹⁾

ry-määrä kasvat. alusta	Aika	Elopainotuotos	Teurasp. tuotos ¹⁾	Rajatuotos teurasp. ¹⁾	Ry:n keski-hinta kasv. alusta p/ry	Ry-lisän hinta p/ry	Hinta-suhde ry-lisä liha
Ruokinta A, heinävaltainen							
371	176.6	123.6	58.1	0.133	50.9	41.3	0.055
802	294.2	214.1	100.6	0.084	47.9	46.1	0.061
1152	385.4	275.4	129.4	0.070	46.8	44.2	0.059
1302	421.5	295.7	139.0	0.059	46.5	44.2	0.059
1552	473.4	324.9	152.7	0.052	46.1	44.2	0.059
1852	522.6	361.3	169.8	0.050	44.5	36.0	0.048
2052	553.5	384.0	180.5	0.049	43.7	36.0	0.048
2252	583.2	405.8	190.7	0.047	43.0	36.0	0.048
Ruokinta B, säilörehuvaltainen							
371	171.5	128.3	60.3	0.138	50.2	40.6	0.054
801	284.6	221.0	103.9	0.087	46.7	44.2	0.059
1151	368.7	283.3	133.2	0.069	45.9	44.2	0.059
1401	417.7	316.5	148.8	0.059	45.6	44.2	0.059
1551	444.1	334.4	157.2	0.055	45.5	44.2	0.059
1851	493.8	369.8	173.8	0.051	43.9	36.0	0.048
2051	525.0	392.6	184.5	0.050	43.2	36.0	0.048
2251	555.1	413.5	194.3	0.049	42.5	36.0	0.048

¹⁾ Laskettaessa tuotetun lihan määrää on teurastusprosentiksi arvioitu 47. Lihan hinnaksi on valittu kaavamaisesti keskimääräinen tavoitehinta 7.54 mk/kg (voimassa 1.5.1973 alkaen), ottamatta huomioon lihan laadun, eläimen painoluokituksen tai hinnan kausivaihtelun vaikutusta, joiden merkitys optimin määräytymisessä on mitä keskeisin.

Eläimen A ruokinnassa voidaan todeta muodostuvan kaksi optimikohtaa. Näistä ensimmäinen saavutetaan rehumäärällä n. 1300 ry, jolloin kasvatusaikaa on kulunut n. 422 pv ja elopainotuotokseksi on saatu n. 296 kg. Ry:n rajatuottavuus on tällöin 126 g elopainoa eli teurastusprosentin mukaan muunnettuna 59 g lihaa/ry. Optimin jälkeen tuotanto on aluksi tappiollista, sillä tuotoksen lisäyksen arvo jää siihen tarvittavan panoksen arvoa pienemmäksi. Laidunkauden alkaminen (tässä navettaruokinta) on kuitenkin muuttanut tuotannon uudelleen kannattavaksi. Toinen optimipiste asettuu kohtaan n.2160 ry.

Eläimen B ruokinnassa saadaan optimikohta rehumäärällä n. 1400 ry. Eläintä on kasvatettu tällöin n. 418 pv. Optimi saavutetaan siis 3-4 pv lyhyemmässä ajassa kuin eläimen A osalta. Siitä huolimatta tuotos oli eläimellä B suurempi eli n. 317 kg elopainoa. Jatkettaessa kasvatusa optimin jälkeen, tuotanto tulee tässäkin halvemmän laidunrehun ansiosta uudelleen kannattavaksi. Tällöin lähestytään toista optimikohtaa, jota estimointijakson päättymiseen mennessä ei kuitenkaan vielä saavutettu.

Esimerkkitapausten antamaa taloudellista tulosta voidaan nyt verrata esim. seuraavan katetuottolaskelman avulla. Laskelmissa verrataan tulosta optimi rehumäärillä 1302 ry(A) ja 1401 ry (B):

<u>Tuotto:</u>	A Heinävalt.	B Säilörehuvalt.
nettotuotos kg	139.0	148.8
tuotos vasikasta kg	<u>20.4</u>	<u>20.4</u>
tuotos yht. kg	<u>159.4</u>	<u>169.2</u>
Tuotto yhteensä (á 7.54 mk)	1291.88 mk	1275.67 mk
 <u>Kustannukset:</u>		
rehut ry	1302 á 46.5 p	1401 á 45.6 p
Rehukustannus	605.43 mk	638.86 mk
Vasikka	<u>350.00 "</u>	<u>350.00 "</u>
Kustannukset yhteensä	955.43 mk	988.86 mk
Kate muille kustannuksille	===== <u>246.45 mk</u> =====	===== <u>286.81 mk</u> =====
Kasvatusajan pituus pv	422	418
Kate päivää kohti	===== <u>58.4 p/pv</u> =====	===== <u>68.6 p/pv</u> =====

Laskelma osoittaa, että esimerkkitapauksessa eläin B on lähinnä intensiivisemmän ruokinnan vuoksi antanut paremman tuloksen kuin eläin A. Vaikka rehun kokonaiskulutus oli B:llä n. 100 ry suurempi, on laskelmassa katteeksi jäävä erä kuitenkin n. 40 mk suurempi kuin eläimellä A. Eläimen B kasvatusaika muodostui myös hieman lyhyemmäksi, mikä on lisännyt sen paremmuutta A eläimeen nähden.

7. Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin sellaisen naudanlihan tuotantoprosessia kuvaavan mallin muodostaminen, joka voisi tarjota perustiedot tuotannon yksityistaloudellista optimoimista varten. Lähtökohtana on ollut se, että lihan tuottajan tulisi voida suunnitella tuotanto siten, että eläimen kasvatuksesta saataisiin taloudellisesti mahdollisimman hyvä tulos. Täyttääkseen asetetun tavoitteen mallilta edellytetään tiettyä yleistettävyyttä, mikä johtuu mm. ruokintaan soveltuvien rehuaineiden lukuisuudesta. Useimmat aikaisemmin laaditut naudanlihan tuotantofunktiot on muodostettu siten, että niissä on rehupanoksena käytetty yleensä kahta rehunimikettä. Nämä funktiot eivät siten sovellu laajempaan käyttöön esim. rehukustannuksen minimointiin, kun käytettävissä on useita vaihtoehtoisia rehuaineita.

Tässä tutkimuksessa rehupanosta kuvataan indikaattoreilla, jotka mittaavat koko käytetyn rehuyhdistelmän ominaisuuksia tuotannossa. Valinnassa päädyttiin perusmuuttujiin rehuyhdistelmän energiasisältö (rehuyksikköinä, ry) ja kuiva-ainemäärä (kg ka) sekä sulavan raakavalkuaisen (srv) määrä. Rehupanoksen määrästä ja laadusta, erilaisista ulkoisista tekijöistä ja eläinten perinnöllisistä ominaisuuksista riippuvana muuttujana on tuotoksen määrä. Tuoteyksikön muodostuminen vaatii aikaa, jolle eläimen kasvukyky asettaa minimin. Kasvunopeudella on merkitystä taloudelliselta kannalta, koska useimmat tuotannon kiinteät kustannukset ovat ajan suhteen muuttuvia. Hitaassa kasvussa esim. ylläpitorehun lisääntyminen kohottaa rehun kokonaiskulutusta verrattuna nopeaan kasvuun. Aika on tuotantoprosessia kuvaavassa mallissa käsitetty endogeeniseksi muuttujaksi, joka riippuu mm. rehun määrästä. Muodostettu yhtälö mittaa siten lähinnä rehun syöntiin kuluvaa aikaa. Tuotoksen ja syöntiajan välisellä suhteella mitataan kasvunopeutta. Kuviossa 4 on esitetty mallin osittain aggregoitujen tekijöiden väliset riippuvuussuhteet. Hypoteesiksi asetettiin mallissa myös se, että tuotoksen ja ajan välillä on

A molemminpuolinen, simultaaninen riippuvuus

B yhdensuuntainen, rekursiivinen " ,
jossa tuotoksen määrällä on vaikutusta syöntiajan pituuteen

C ei ole riippuvuutta

Tutkimusaineisto koostuu osasta Maatalouden tutkimuskeskuksen suorittamia naudan kasvatuskokeita. Aineisto on verraten monipuolinen, mikä teki mahdolliseksi rehupanoksen mittaamisen tarkoitukseen valituilla indikaattoreilla. Toisaalta aineisto asettaa rajoituksia tutkimustehtävän toteuttamiselle. Riittävän pitkää kasvatusaikaa peittävien yhtenäisten havaintojen puuttuminen johti siihen, että eläimen kasvukausi jouduttiin jakamaan kolmeen peräkkäiseen kasvatusvaiheeseen. Jako suoritettiin iän perusteella siten, että I kasvatusvaiheeseen sisältyivät alle 200 päivän ikäiset eläimet, II vaiheeseen yli 200 päivän ja III vaiheeseen yli 365 päivän ikäiset eläimet. Kokonaisuudessaan aineisto peittää kasvukauden noin 600 pv ikään saakka. Aineisto muodostettiin kussakin kasvatusvaiheessa poikkileikkausmaisesti ajan suhteen.

Funktion muotoa ja muuttujien sopivinta ilmaisutapaa selvitettiin esitutkimuksen avulla estimoimalla malli toisen asteen polynomien, Cobb-Douglas funktion sekä transcendenttifunktion avulla ja käyttämällä rehuyhdistelmän valkuaismäärän ilmaisemisessa seuraavia vaihtoehtoisia tapoja:

1. sulavan raakavalkuaisen määrä kg
2. energian srv-pitoisuus, valkuaisväkevyys g srv/ry
3. typen määrä rehussa kg

Sopivimmaksi osoittautui Cobb-Douglas funktio ja valkuaismuuttujana näytti mielekkäimmältä vaihtoehto 2 valkuaisväkevyys, jonka voidaan katsoa toimivan lähinnä energian laadun indikaattorina tuotannossa. Transcendenttifunktio antoi myös mielenkiintoisia tuloksia, joita tarkastellaan tutkimuksen loppuosassa.

Kasvatusvaiheessa I suoritettu mallihypoteesien A, B ja C testaaminen johti päätelmiin, että malli C on riittävä tuotantoprosessin kuvaamiseen vaikka täysin sitovasti ei voitu hylätä hypoteesia simultaanisen tai rekursiivisen riippuvuuden esiintymisestä

tuotoksen ja ajan välillä. Tämän riippuvuuden esille saamista häirit-
si selittävän endogeenisen ja eräiden eksogeenisten muuttujien väli-
nen voimakas korrelaatio. Kasvatusvaiheille I, II ja III estimoitu
malli C oli seuraava:

$$Y = f(X_4, X_7, X_3, D_{sk})$$

$$T = f(X_1, X_2, X_3, D_{sk})$$

Mallissa Y = tuotos kg elopainoa

T = rehun syöntiin kuluva aika pv

X₁ = rehun kuiva-aineen määrä kg

X₂ = rehun väkevyys ry/100 kg ka

X₃ = eläimen paino kasvatusvaiheen alussa kg

X₄ = rehun energiamäärä ry

X₇ = rehun valkuaisväkevyys g srv/ry

D_{sk} = rotujen välisiä eroja kuvaava apumuuttuja,
joka

sk-rodulla = 1, muilla = 0

Kaikissa kolmessa kasvatusvaiheessa mallin endogeenisten muuttu-
jien vaihtelut voitiin selittää Cobb-Douglas funktiolla varsin hyvin,
sillä yhtälöiden selitysasteet vaihtelivat välillä 0.959 ja 0.996.
Muuttujien regressiokerrointen estimaatit olivat yleensä merkitse-
viä lukuunottamatta kasvatusvaihetta III, yli 365 pv, jossa havain-
tojen lukumäärä oli pieni. Kasvatusvaiheittaisen jaon aiheuttamien
haittojen vähentämiseksi estimoitiin malli myös koko kasvukaudelle
(yhteisesti vaiheille I-III) sisällyttämällä malliin apumuuttujat
D_{II} ja D_{III} seuraavasti:

D_{II}, Kasvatusvaihe II = 1, muut = 0

D_{III}, Kasvatusvaihe III = 1, muut = 0

Malli estimoitiin kasvatusvaiheittain käyttämällä myös ns. epä-
täydellistä transcendenttifunktiota, johon tuotosta selittävä rehun
valkuaisväkevyys (X₇) ja rehun syöntiaikaa selittävä rehun väkevyys
(X₂) sisältyivät sekä logaritmisina että lineaarisina. Nämä muuttujat
antoivat riippuvalle muuttujalle mm. ääriarvot, jotka funktioiden
keskiarvotasolla olivat seuraavat:

	Tuotoksen		Rehun syöntiajan	
	<u>minimi</u>	<u>maksimi</u>	<u>minimi</u>	<u>maksimi</u>
	valkuaisväkevyydellä		väkevyydellä	
Kasvatusvaihe I	141 g srv/ry	-	-	- ¹⁾
Kasvatusvaihe II	-	155 g srv/ry	-	84 ry/100 kg ka
Kasvatusvaihe III	63 g srv/ry	-	-	66 -"-

¹⁾ rehun syöntiaika alenee hidastuen väkevyyttä lisättäessä

Tulosten tarkastelussa kiinnitetään huomiota mallin soveltuvuuteen naudanlihan tuotantoprosessin kuvaajana ja esitetään mm. mallin keskiarvotasolla antamat tärkeimmät keskimääräiset ja raja-suureet. Samoin kiinnitetään huomiota mallin eräisiin puutteisiin sekä sovellutuksissa esiintuleviin hankaluuksiin. Tutkimuksen lopussa tarkastellaan tulosten sovellutuksia yleisesti ja mallin ulkopuolisten tekijöiden kannalta sekä esitetään eräs kaavamainen sovellutusesimerkki, jossa selvitetään kasvatuksen taloudellinen optimi kahdella ennalta määrättyllä ruokinnalla.

Kirjallisuus

- ANDERSEN, P. 1969. Estimering og anvendelse af produktionsfunktioner i mælkeproduktionen. Föredrag i NJF:s studieseminarium för yngre lantbruksekonomer. Företagsekonomiska analys- och planläggningsmetoder, föredragssamling ss. 18-30. Uppsala.
- " - 1971. Ratio of Substitution of Feeds in Milk Production. OECD Experts Meeting for the Development of Cooperation in the Production of Input/Output Data. 20 p. Mimeographed.
- BENTZEL, R., HANSEN, B. 1954. On Recursiveness and Interdependency in Economic Models. The Rev. of Econ. Studies 59:1954-1955.
- BISHOP, C., TOUSSAINT, W. 1958. Introduction to Agricultural economic Analysis. 258 p. London.
- DURBIN, I., WATSON, G. 1950, 1951. Testing for serial Correlation in Least Squares/Regression. I Biometrika 37:409-428, II Biometrika 38:159-178.
- EZEKIEL, M., Mc NALL, P., MORRISON, F. 1927. Practices responsible for Variations in physical Requirements and economic Costs of Milk Production on Wisconsin Dairy Farms. Wis.Agr.Exp.St.Res.Bull. 79:1-55.
- HALTER, A., CARTER, H., HOCKING, I. 1957. A Note on the Transcendental Production Function. J. Farm Econ. 39:966-974.
- HANSSON, N. 1916. Utfodringslära.
- HEADY, E. 1952. Economics of agricultural Production and Resource Use. 850 p. New York.
- " - , DILLON, I. 1961. Agricultural Production Functions. 667 p. Ames.

- HEADY, E., ROEHRKASSE, G., et.al. 1963. Beef-Cattle Production Functions in Forage Utilization. Agr. and Home econ. Exp. Station Iowa State Univ. of Sci. and Tech. Res. Bull. 517:883-920.
- HJELM, L. 1954. Planering av animalieproduktionen efter lineära resp. krökta funktioner. Nordisk lantbruksekonomisk tidskrift 4:12-16.
- HYPPÖLÄ, K., HASUNEN, O. 1971. Kuinka paljon lehmä syö?. Karjatalous 47:1:10-11.
- IHAMUOTILA, R. 1970. The Effect of Increasing Nitrogen Fertilization on the Economic Result in Corn Production. (Selostus: Lisääntyvän typpilannoituksen vaikutuksesta maissintuotannon taloudelliseen tulokseen New Yorkin valtiossa). Maat.tal.tutk.lait.julk. 21, s.1-28.
- JENSEN, E., KLEIN, W. et.al. 1942. Input-Output Relationships in Milk Production. U.S.D.A. Tech Bull. 815:1-88.
- JOHANSSON, V. 1969. Estimering och användning av produktionsfunktioner för köttproduktion. Föredrag i NJF:s studieseminarium för yngre lantbruksekonomer. Företagsekonomiska analys- och planläggningsmetoder, föredragssamling ss. 31-34. Uppsala.
- JOHNSON, S., TRETSVEN, I. et.al. 1932. Organization, Feeding Methods and other Practices affecting Returns on irrigated Dairy Farms in Western Montana. Mont.Agr.Exp.St.Bull. 204:1-73.
- JOHNSTON, J. 1972. Econometric Methods. 437 p., 2. ed.Tokyo.
- JÜNGEHÜLSING, H. 1959. Nährstoffbedarf, Futterkosten und Nutzungsdauer bei der Bullenmast. Ber. über Landw. 37:645-655.
- KETTUNEN, L. 1966. Om produktionfunktionens form. Saertryck av Nordisk Jordbruksforskernes Forening, 1966:9-19.
- " - 1968. Demand and Supply of Pork and Beef in Finland. Maat.tal.tutk.lait.julk. 11:1-93.

- KETTUNEN, L., TORVELA, M. 1970. The Intensity and Interdependence of gross Return and Factors of Production in Agriculture. Maat.tal.tutk.lait.julk. 19:1-92.
- KELLNER, O. 1907. Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. 621 s. 4 Aufl. Berlin.
- "- , BECKER, M. 1971. Grundzüge der Fütterungslehre. 376 s. 15. neubearbeitete Aufl. Berlin.
- KLEIN, R. 1962. An Introduction to Econometrics. Englewood Cliffs, N.I. Prentice-Hall, Inc. 280 p.
- LAMPILA, M. 1970. Voidaanko lypsykarjan ruokintaa yksinkertaistaa. Suomen Ayrshirekarja 44:170-174.
- "- 1971. Pystytäänkö lypsylehmän valkuaistarve tyydyttämään säilörehulla. Karjatalous 47, erip. 2 s.
- LARPES, E. 1963. Mullivasikoiden kasvatuskoe vuosina 1960-62, Maatal. ja koetoim. 17:263-278.
- LINDSTRÖM, U. 1970. Näkökohtia naudannihan tuotannosta. Suomen Ayrshirekarja 44:5-8.
- MAATALOUS JA KOETOIMINTA 1973, 17:263-278 sekä 1967, 21:234-241.
- Mc ALEKSANDER, R., HUTTON, R. 1957. Determining Least-Cost Combination. J. Farm Econ. 39:936-941.
- MELLEROWITCZ, K. 1951. Kosten und Kostenrechnung I, 488 s. 2. Aufl. Berlin.
- MÄKELÄ, A. 1956. Studies on the Question of Bulk in the Nutrition of Farm Animals With Special Reference to Cattle. Acta Agr. Fenn. 85:1-130.
- MÄKI, A. 1964. Maataloustuotannon järjestäminen. Yleisiä näkökohtia. Maanvilj.tietok. 3, Maatalouden ekonomia, II Maanviljelystalous, ss. 261-275. Helsinki.
- NELSON, A. 1945. Relationship of Feed Consumed to Food Products produced by Fattening Cattle. U.S.D.A. Tech.Bull. 900.
- OECD, 1964. Cooperative Research to Improve Input-Output Data in Cow Milk Production. Doc. in Agr. and Food 71.

- OECD, 1968. Cooperative Research on Input/Output Relationships in Beef Production. Doc. in Agr. and Food 82:1-112.
- PALOHEIMO, L. 1956. Kotieläinhoidon perusteita. 619 s. Jyväskylä.
- PLAXICO, I., ANDRILENAS, P., POPE, L. 1959. Economic Analysis of a Concentrate-Roughage Ratio Experiment. Okl. St. Univ. Processed Series, 310 p.
- RAHMAN, A., BENDER, F. 1971. Linear Programming Approximation of Least Cost Feed Mixes with Probability Restriction. Am. J. Agr. Econ. 53:612-618.
- RYYNÄNEN, V. 1970. Tutkimuksia maatalouden tuotantofunktioista Sisä-Suomen kirjanpito viljelmillä vuosina 1960-1966. Acta Agr. Fenn. 120:1-65.
- SPELLMAN, W. 1923. Application for the Law of diminishing Returns to some Fertilizer and Feed Data. J. Farm Econ. 5:36-52.
- THAER, A. 1809. Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Berlin.
- TOLLEY, H., BLACK, I., EZEKIEL, M. 1924. Input as related to Output in Farm Organization and Cost-of-Production Studies. U.S.D.A. Bull. 1277:1-44.
- TORVELA, M. 1959. Kotieläintalouden tuotoksen riippuvuus käytetyistä tuotantovälineistä. Maat.tal.tutk.lait.tiedonantoja 1:1959, 64 s.
- " - 1966. Tuotantopanosten käytöstä ja käytön edullisuudesta maataloudessa Etelä-Suomen alueen kirjanpito viljelmillä (Summary: On the Use of agricultural Inputs on Book-keeping Farms in South Finland). Maat.tal.tutk.lait. julk. 8:1-141.
- VARO, M. 1969. Eräitä lihantuotannon jalostusongelmia. Suomenkarja 24:3:5-6.
- WAUGH, F. 1951. The Minimum-Cost Dairy Feed. J. Farm Econ. 33: 299-310.
- WECKMAN, K. 1972. Ruokintasuunnittelu maidontuotannossa. Hels.yliop. maanvilj. tal.lait.julk. 1:1972:1-16.

- VIKTORSSON, H., JOHANSSON, V. 1971. Inter-Disciplinary Research for the Establishment of Input/Output Data for Cow Milk and Beef Production in Sweden. OECD Experts Meeting for the Development of Cooperation in the Production of Input/Output Data. 20 p. Mimeographed.
- WOERMANN, E. 1933. Die Veredlungswirtschaft. Betriebsformen und Rentabilitetsfragen der Nutztvieh-Haltung. 240 s. Berlin.
- VOGEL, G. 1965a. Ein Beitrag zur Quantifizierung der Stärke-Einheitenbedarf in der Rindermast. Ber. über Landw. 43:35-53.
- " - 1965b. Ein Beitrag zur Produktionstheorie der Rindermast. Agrarwirtschaft 14:1:96-102.
- WRAGG, S. 1971. Some Observations on recent Developments in the Derivation and Use of Input/Output Data for Beef Production in the United Kingdom. OECD Experts Meeting, for the Development of Cooperation in the Production on Input/Output Data. 11 p. Mimeographed.

Tilastoaineisto:

Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tuottajahintatilastot vv. 1962 - 1972.

Maatalouden tutkimuskeskus. Naudan kasvatuskokeet vv. 1960 - 1970.

Maatilahallituksen teurastustilastot vv. 1958 - 1972.

SUMMARY

On Input-Output Relationship in Beef Production

JOUKO SIREN

Agricultural Economics Research Institute, Finland

The aim of the study was to create a model depicting the process of beef production that could provide basic information for the economic optimization of production. The study proceeded from the proposition that a beef producer should be able to plan production in such a way as to derive the best possible economic results from animal husbandry. To meet the objective set for the model, it needs to have a certain degree of universality e.g. because of the number of feeding stuffs suitable for feeding. Most of the beef production functions formed previously were designed by using, in general, two brands of feed as feed input. Thus these functions are not applicable for wider use e.g. for minimization of feed costs, since several alternative feeding stuffs are available.

In this study, feed input is described by indicators measuring the characteristics of the entire feed combination used in production. The following basic variables were chosen: energy content of feed combination (feed units, f.u.), amount of dry matter (kg d.m.) and amount of digestible raw protein (d.r.p.). The amount of production depends on the quantity and quality of the feed input, various external factors and the hereditary characteristics of animals. Formation of a production unit takes time with the animal's growth potential as a limiting factor. The rate of growth is of significance from an economic point of view because most fixed production costs are variable in relation to time. With a slow growth rate, the increase in the amount of maintenance feed, among other things, pushes up the overall consumption of feed in comparison to a high rate of growth. In the model depicting the production process, time is considered an endogenous variable that depends on the amount of feed, among other things. The equation formed here thus primarily

measures the time spent on the eating of feed. The ratio between production and duration of eating measures the rate of growth. Diagram 4 shows the correlation between the partially aggregated factors of the model. Another hypothesis in the model is that between production and time there is:

- a) Simultaneous correlation
- b) Recursive correlation where amount of production influences duration of eating
- c) No correlation

The material used in this study is derived from beef experiments conducted by the Agricultural Research Center. The material is fairly diversified which made it possible to measure the feed input by the indicators chosen for the purpose. On the other hand, the material imposes certain limitations on the study. Due to the absence of uniform observations covering an adequate period of animal breeding, the rearing period had to be divided into three consecutive stages. The division was made on the basis of age in such a way that stage I included animals aged less than 200 days, stage II more than 200 days and stage III more than 365 days. On the whole, the material covers a growth period extending roughly up to 600 days. In each stage, the material was formed to give a gross section in relation to time.

The form of the function and the most suitable expression of the variables were explored in preliminary tests by estimating the model with the help of a second degree polynomial, Cobb-Douglas function and transcendental function and by employing the following alternative methods in expressing the protein content of the feed combination:

1. Amount of digestible raw protein kg.
2. D.r.p. content of energy g d.r.p./f.u.
3. Amount of nitrogen in feed kg.

The Cobb-Douglas function proved the most suitable one and alternative 2 seemed the most appropriate one as the protein variable that can be regarded mainly as an indicator of energy quality in production. The transcendental function also gave interesting results that are examined in the latter part of this study.

The testing of model hypotheses A, B and C made in stage I led to the conclusion that model C is adequate for a description of the production process although the hypothesis concerning the occurrence of a simultaneous or recursive correlation between production and time could not be rejected on fully conclusive grounds. The establishment of this correlation was inhibited by a strong correlation between an explanatory endogenous variable and certain exogenous variables. Model C estimated for stages I, II and III was as follows:

$$Y = f (X_4, X_7, X_3, D_{sk})$$

$$T = f (X_1, X_2, X_3, D_{sk})$$

In the model Y = production kg of live weight

T = time spent on eating of feed, days

X₁ = dry matter content of feed, kg

X₂ = concentration of feed, f.u./100 kg d.m.

X₃ = weight of animal at start of rearing stage, kg

X₄ = energy content of feed, f.u.

X₇ = protein content of feed, g d.r.p./f.u.

D_{sk} = dummy variable depicting differences between breeds which is:

1 for suomenkarja breed

0 for others

In all three stages, the variations shown by the endogenous variables on the model could be explained quite well with the help of the Cobb-Douglas function since the R²-values of the equations ranged between 0.959-0.996. Estimates of the regression coefficients

of the variables were generally significant with the exception of stage III (more than 365 days) where the number of observations was small. To reduce the drawbacks arising from the division into rearing stages, the model was also estimated for the entire growth period (jointly for stages I-III) by incorporating dummy variables D_{II} and D_{III} into the model as follows:

D_{II} , stage II = 1, others = 0

D_{III} , stage III = 1, others = 0

The model was estimated in terms of stages also by using a so-called incomplete transcendental function which included X_7 (protein content of feed) and X_2 (concentration of feed) both in logarithmic and linear terms. These variables gave the dependent variable e.g. maximum or minimum values which were as follows at the mean level of the functions:

	Production		Time spent of eating of feed	
	min. protein	max. content	min. concentration	max:
Stage I	141 g d.r.p./f.ú.	-	-	-1)
Stage II	-	155 g d.r.p./f.u.	-	84 f.u./100 kg d.m.
Stage III	63 g d.r.p./f.u.	-	-	66 - " -

1) ^{as} Time spent on eating of feed diminishes at a decreasing rate/concentration is increased.

In the examination of results, attention is paid to the suitability of the model in describing the process of beef production and major average and marginal values given on the mean level by the model are presented. Also, attention is devoted to certain shortcomings of the model and problems associated with its application. Toward the end of the study, the application of results is examined in general terms as well as in terms of the external factors of the model, and one schematic example of application is shown explaining the economic optimum of animal breeding with two pre-determined types of feeding.

Liite 1. Tutkimusaineisto

Järj. no	Koe ¹⁾ no	Ikä alus- sa pv	Paino alus- sa kg	Aika pv	Tuotos elop. kg	Rotu	Eläin- luku	Rehupanosuuttajat			
								Ka- määrä	Väkevyy- s ry/100 kg ka	ry- määrä	Valk. määrä g srv/ry
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Kasvatusvaihe I, alle 200 pv											
1	3	13	54.6	20	22.3	Ay	2	17.4	126.0	21.9	198.3
2	3	12	58.6	40	32.0	"	2	46.5	115.8	53.8	185.1
3	4	19	45.8	50	28.2	"	16	70.3	103.0	72.4	137.3
4	4	19	47.5	50	36.3	"	15	76.3	106.9	81.5	168.8
5	2	19	45.3	50	34.3	"	2	69.7	103.2	71.9	192.1
6	2	20	44.4	50	35.8	"	2	76.9	106.9	82.2	174.2
7	2	24	43.9	50	37.0	"	2	79.7	103.2	82.3	174.2
8	2	24	43.5	50	41.8	"	2	77.1	103.7	80.0	179.6
9	3	19	46.1	90	65.7	"	2	152.4	90.6	138.1	183.1
10	5	20	48.3	130	111.5	"	2	359.9	96.2	346.3	147.6
11	5	20	48.0	130	129.0	"	2	372.4	95.9	357.0	146.3
12	5	23	47.0	130	125.8	"	2	385.9	96.0	370.4	144.7
13	5	23	43.8	130	121.5	"	2	375.1	96.0	359.9	146.3
14	5	28	49.3	130	141.1	"	4	425.6	95.3	405.8	141.2
15	6	20	47.3	139	133.6	"	10	386.1	98.3	379.4	147.7
16	1	16	44.6	190	133.3	"	3	591.5	71.9	425.1	137.4
17	1	17	50.1	190	148.3	"	2	605.0	71.5	432.6	136.5
18	1	19	44.0	190	127.8	"	3	599.6	71.4	428.0	136.7
19	1	8	47.4	200	141.8	"	2	602.4	72.2	434.9	137.5
20	1	10	44.3	200	145.5	"	2	618.3	71.7	443.5	137.2
21	1	12	47.7	200	148.3	"	2	633.1	71.6	453.3	136.1
22	1	17	49.0	200	149.5	"	2	653.0	70.7	461.9	135.4
23	1	18	48.0	200	150.8	"	2	647.3	70.5	456.6	135.8
24	1	19	46.7	200	156.5	"	2	651.6	70.7	460.6	135.1
25	2	23	37.3	50	33.2	Sk	2	74.1	95.3	70.6	185.8
26	2	24	42.6	50	36.8	"	2	80.3	105.4	84.6	167.6
27	2	25	33.2	50	33.3	"	2	69.5	95.3	66.2	190.7
28	2	26	34.7	50	38.5	"	2	75.0	101.4	76.1	173.4
29	3	28	43.5	110	94.0	"	2	256.9	82.7	212.3	172.1
30	3	22	42.0	120	109.7	"	2	277.1	82.5	228.7	173.7
31	3	14	41.4	130	99.2	"	2	272.6	84.5	230.4	176.2
32	5	19	44.0	130	128.3	"	2	388.6	95.2	369.9	144.5
33	5	20	42.3	130	130.7	"	2	374.4	95.7	358.3	146.2
34	5	28	41.2	130	141.1	"	4	425.3	94.6	402.3	141.5
35	5	29	36.4	130	123.5	"	2	380.4	95.9	364.8	145.9
36	3	29	43.5	130	123.0	"	2	329.2	80.1	263.7	169.1
37	6	17	39.7	139	134.8	"	10	364.2	97.8	356.2	150.4
38	5	17	37.3	140	125.0	"	2	375.9	96.1	361.1	149.3
39	1	18	37.9	180	123.0	"	3	553.3	72.3	400.3	137.5
40	1	11	40.8	190	142.7	"	3	573.3	72.5	415.8	138.2
41	1	14	38.7	190	142.5	"	2	577.3	72.3	417.1	137.8
42	1	17	39.8	190	147.3	"	2	583.1	71.7	418.3	138.4
43	1	17	41.6	190	143.7	"	2	601.3	71.6	430.5	136.9
44	1	12	38.4	200	152.5	"	2	608.3	71.9	437.2	137.9
45	1	15	36.4	200	142.7	"	2	603.7	71.5	431.6	138.5
46	1	17	37.0	200	145.2	"	2	600.5	71.3	428.4	138.9
47	1	19	44.3	200	154.5	"	2	638.4	70.7	451.1	135.9

¹⁾ Koenumero viittaa liitteen 1 lopussa esitettyihin kasvatuskokeisiin.

Liite 1. Tutkimusaineisto, jatkoa

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Kasvatusvaihe II, yli 200 pv											
48	3	183	215.0	20	16.7	SkCh	4	110.4	69.1	76.3	116.4
49	3	181	194.2	50	41.3	Sk	2	285.5	66.7	190.5	117.4
50	3	187	218.6	50	46.9	AyCh	4	284.0	66.8	189.6	118.1
51	3	187	190.0	50	45.0	"	3	288.2	66.7	192.2	117.4
52	3	188	201.4	50	40.9	Sk	4	269.7	67.0	180.8	118.8
53	3	183	193.9	60	49.2	Ay	3	390.6	64.9	253.3	119.8
54	3	185	209.1	60	50.2	"	4	332.9	65.9	219.5	122.4
55	7	181	200.6	80	64.5	Sekal.	6	419.1	95.1	398.8	98.5
56	8	188	171.0	112	65.0	FrSk	1	476.8	79.1	377.3	135.8
57	8	200	178.0	112	79.0	"	1	473.5	88.9	421.0	131.6
58	8	203	180.8	112	82.0	"	1	534.3	82.1	438.8	117.2
59	8	206	178.4	112	85.0	"	1	521.8	89.1	464.8	114.0
60	8	222	147.3	112	80.0	Sk	1	489.9	88.5	433.7	133.1
61	8	177	209.1	140	116.0	FrSk	1	754.2	79.0	595.9	140.6
62	8	187	193.9	140	128.0	"	1	722.7	80.8	584.4	140.9
63	8	187	204.4	140	106.5	"	1	723.3	81.9	592.2	122.1
64	8	188	142.6	140	89.0	Sk	1	579.3	77.6	449.8	167.3
65	8	188	199.2	140	148.5	FrSk	1	844.9	85.7	723.7	140.9
66	8	189	160.7	140	104.5	Sk	1	579.2	77.6	449.5	167.0
67	8	191	188.6	140	141.5	FrSk	1	824.3	79.0	651.3	140.5
68	8	193	170.5	140	120.5	Sk	1	735.5	79.0	581.0	140.6
69	8	194	170.1	140	95.0	"	1	660.3	79.0	521.7	140.7
70	8	197	157.9	140	110.5	"	1	697.8	82.0	572.3	121.4
71	8	198	202.8	140	127.0	"	1	772.1	86.4	667.1	139.0
72	8	199	203.1	140	149.0	FrSk	1	934.4	86.0	803.4	123.5
73	8	200	159.0	140	99.0	Sk	1	622.5	82.4	512.6	119.2
74	8	200	180.0	140	142.0	FrSk	1	793.0	80.6	638.8	143.7
75	8	201	181.5	140	138.5	Sk	1	814.7	86.4	704.0	122.3
76	8	203	166.5	140	118.0	"	1	746.8	80.2	598.6	146.7
77	8	206	177.3	140	121.5	"	1	764.2	79.0	603.7	140.5
78	8	207	167.2	140	105.5	FrSk	1	682.2	79.0	538.9	140.7
79	8	211	212.8	140	110.5	"	1	803.0	77.7	623.5	167.2
80	8	215	160.3	140	109.0	Sk	1	622.4	77.7	514.7	166.4
81	8	220	151.9	140	116.5	FrSk	1	668.1	77.6	518.1	167.5
82	8	232	150.8	140	106.0	Sk	1	697.7	88.4	616.5	118.7
83	8	236	194.9	140	99.5	"	1	764.4	77.6	593.4	167.5
84	8	236	143.1	140	145.5	"	1	796.4	80.3	639.5	145.4
85	8	236	169.9	140	107.5	"	1	770.5	79.0	608.6	140.8

Liite 1. Tutkimusaineisto, jatkoa

1.	2.	30	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Kasvatusvaihe III, yli 365 pv											
86	1	355	284.4	80	59.5	Sk	4	482.3	73.6	355.0	92.6
87	1	358	309.4	80	59.3	Ay	5	536.3	83.1	445.5	91.3
88	3	356	336.2	160	78.6	SkCh	8	1223.9	58.0	710.4	105.8
89	3	399	295.3	160	71.9	Sk	8	1077.3	58.4	629.4	105.0
90	3	403	336.7	160	88.7	AyCh	8	1345.0	53.1	714.4	114.2
91	2	364	292.3	180	95.6	Sekal.	16	1260.2	59.8	754.0	130.2
92	2	365	296.6	180	100.2	"	15	1383.8	63.3	875.7	123.8
93	3	403	334.7	200	79.2	Ay	8	1513.1	58.5	885.3	108.7
94	1	362	273.9	220	115.8	Sk	6	1678.7	59.7	1001.5	139.7
95	1	362	297.6	220	130.6	Ay	6	1708.3	59.4	1015.0	140.9
96	1	367	273.5	220	120.6	Sk	4	1576.9	60.0	945.5	139.8
97	1	367	291.7	220	128.8	Ay	4	1594.8	59.9	955.1	137.5

Kokeen numero viittaa seuraaviin kasvatuskokeisiin, joista aineisto koostuu:

1. Mullikoe	1960-62
2. "	1961-63
3. Risteytysmullit	1963-65
4. Kevätvasikat	1964
5. Lihovasikkakoe	1964-65
6. "-"	1965-66
7. Kuivarehuvasikat	1963-64
8. Lihanautakoe	1969

Liite 2. Moniyhtälömallien A ja B muuttujien korrelaatiomatriisit

Simultaaninen malli A

A 1	lg T	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg T	1.0000	0.9823	-0.8473	-0.1487	0.1757
lg X ₄		1.0000	-0.8623	-0.1222	0.1583
lg X ₇			1.0000	0.0275	-0.0065
lg X ₃				1.0000	-0.7663
D _{sk}					1.0000

A 2	lg Y	lg X ₁	lg X ₂	lg X ₃	D _{sk}
lg Y	1.0000	0.9865	-0.7508	-0.0920	0.1893
lg X ₁		1.0000	-0.8265	-0.1400	0.1691
lg X ₂			1.0000	0.1965	-0.1857
lg X ₃				1.0000	-0.7663
D _{sk}					1.0000

Rekursiivinen malli B

B 1	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₄	1.0000	-0.8623	-0.1222	0.1583
lg X ₇		1.0000	0.0275	-0.0065
lg X ₃			1.0000	-0.7663
D _{sk}				1.0000

B 2	lg Y	lg X ₁	lg X ₂	lg X ₃	D _{sk}
lg Y	1.0000	0.9844	-0.7379	-0.0920	0.1893
lg X ₁		1.0000	-0.8265	-0.1400	0.1691
lg X ₂			1.0000	0.1965	-0.1857
lg X ₃				1.0000	-0.7663
D _{sk}					1.0000

Liite 3. Kahden yhtälön mallin C muuttujien korrelaatiomatriisit

Kasvatusvaihe I, alle 200 pv

C 1	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₄	1.0000	-0.8623	-0.1222	0.1583
lg X ₇		1.0000	0.0275	-0.0065
lg X ₃			1.0000	-0.7663
D _{sk}				1.0000

C 2	lg X ₁	lg X ₂	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₁	1.0000	-0.8265	-0.1400	0.1691
lg X ₂		1.0000	0.1965	-0.1857
lg X ₃			1.0000	-0.7663
D _{sk}				1.0000

Kasvatusvaihe II, yli 200 pv

C 3	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₄	1.0000	0.4400	-0.3497	0.1811
lg X ₇		1.0000	-0.3527	0.1227
lg X ₃			1.0000	-0.4876
D _{sk}				1.0000

C 4	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₄	1.0000	0.6077	-0.3308	0.1671
lg X ₇		1.0000	-0.3209	0.1858
lg X ₃			1.0000	-0.4876
D _{sk}				1.0000

Liite 3. jatkoa

Kasvatusvaihe III, yli 365 pv

C 5

	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₄	1.0000	0.8852	-0.0936	-0.1957
lg X ₇		1.0000	-0.4442	-0.0145
lg X ₃			1.0000	-0.6643
D _{sk}				1.0000

C 6

	lg X ₁	lg X ₂	lg X ₃	D _{sk}
lg X ₁	1.0000	-0.8310	-0.0091	-0.1759
lg X ₂		1.0000	-0.2289	0.0831
lg X ₃			1.0000	-0.6643
D _{sk}				1.0000

Kasvatusvaihe I-III, o-585 pv

C 7

	lg X ₄	lg X ₇	lg X ₃	D _{sk}	D _{II}	D _{III}
lg X ₄	1.0000	-0.5013	0.4927	0.0822	0.2549	0.3662
lg X ₇		1.0000	-0.5669	0.0766	-0.2408	-0.4203
lg X ₃			1.0000	-0.1373	0.6310	0.5372
D _{sk}				1.0000	0.0414	-0.1060
D _{II}					1.0000	-0.3015
D _{III}						1.0000

C 8

	lg X ₁	lg X ₂	lg X ₃	D _{sk}	D _{II}	D _{III}
lg X ₁	1.0000	-0.7170	0.5289	0.0684	0.2354	0.4293
lg X ₂		1.0000	-0.5092	0.0155	-0.0700	-0.5618
lg X ₃			1.0000	-0.1373	0.6310	0.5372
D _{sk}				1.0000	0.0414	-0.1060
D _{II}					1.0000	-0.3015
D _{III}						1.0000

Liite 4. Transcendenttifunktioiden muuttujien korrelaatiomatriisit

Tuotosyhtälöt:

C 9		$\lg X_4$	$\lg X_7$	X_7	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_4$	1.0000	-0.8623	-0.8688	-0.1222	0.1583
	$\lg X_7$		1.0000	0.9992	0.0275	-0.0065
	X_7			1.0000	0.0351	-0.0156
	$\lg X_3$				1.0000	-0.7663
	D_{sk}					1.0000

C 10		$\lg X_4$	$\lg X_7$	X_7	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_4$	1.0000	0.4400	0.4254	-0.3497	0.1811
	$\lg X_7$		1.0000	0.9971	-0.3527	0.1277
	X_7			1.0000	-0.3500	0.1348
	$\lg X_3$				1.0000	-0.4876
	D_{sk}					1.0000

C 11		$\lg X_4$	$\lg X_7$	X_7	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_4$	1.0000	0.8852	0.8670	-0.0936	-0.1957
	$\lg X_7$		1.0000	0.9983	-0.4442	-0.0145
	X_7			1.0000	-0.4787	0.0060
	$\lg X_3$				1.0000	-0.6643
	D_{sk}					1.0000

Syöntiaikayhtälöt:

C 12		$\lg X_1$	$\lg X_2$	X_2	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_1$	1.0000	-0.8265	-0.8443	-0.1400	0.1691
	$\lg X_2$		1.0000	0.9973	0.1965	-0.1857
	X_2			1.0000	0.2267	-0.2061
	$\lg X_3$				1.0000	-0.7663
	D_{sk}					1.0000

C 13		$\lg X_1$	$\lg X_2$	X_2	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_1$	1.0000	0.6077	0.5773	-0.3308	0.1671
	$\lg X_2$		1.0000	0.9983	-0.3209	0.1858
	X_2			1.0000	-0.3011	0.1831
	$\lg X_3$				1.0000	-0.4876
	D_{sk}					1.0000

C 14		$\lg X_1$	$\lg X_2$	X_2	$\lg X_3$	D_{sk}
	$\lg X_1$	1.0000	-0.8310	-0.8407	-0.0091	-0.1759
	$\lg X_2$		1.0000	0.9981	-0.2289	0.0831
	X_2			1.0000	-0.1915	0.0629
	$\lg X_3$				1.0000	-0.6643
	D_{sk}					1.0000

Liite 5. Heinävaltainen ruokinta A. Rehun käyttö lisäyksinä (+) ja kumulatiivisena summana (yht.) kasvatusvaiheittain sekä vastaava ry:n keskihinta. Peräkkäisten kasvatusvaiheiden viimeinen ja ensimmäinen havainto ovat päällekkäiset. Panostaso kunkin vaiheen alussa = 0.

Rehun lisäys ja yht.	Täys- maito ry	Kuor. maito ry	Kaura ry	Heinä ry	Laidun ry	Yhteensä				Yksikkö hinta p/ry
						ry- määrä	Valkuais- väkevyys g srv/ry	ka- määrä kg	Väkevyys ry/100 kg ka	
Kasvatusvaihe I										
yht.	5	33	46	13	-	97	172.5	106	91.5	75.9
+	-	-	54	65	75	194	139.0	291	66.7	42.4
yht.	5	33	100	78	75	291	150.2	397	73.3	53.6
+	-	-	19	21	40	80	143.1	118	67.6	41.3
yht.	5	33	119	99	115	371	148.7	515	72.0	50.9
+	-	-	11	13	23	47	143.1	70	67.6	41.3
yht.	5	33	180	112	138	418	148.1	585	71.5	49.8
+	-	-	8	9	17	34	143.1	50	67.6	41.3
yht.	5	33	138	121	155	452	147.7	635	71.2	49.2
Kasvatusvaihe II										
yht.			8	9	17	34	143.1	50	67.6	41.3
+			90	110	-	200	124.0	304	65.8	46.3
yht.			98	119	17	234	126.8	354	66.1	45.6
+			65	85	-	150	124.3	231	64.9	46.1
yht.			163	204	17	384	125.8	585	65.6	45.8
+			60	140	-	200	127.0	325	61.2	44.2
yht.			223	344	17	584	126.2	910	64.2	45.3
+			15	35	-	50	127.0	81	61.2	44.2
yht.			238	379	17	634	126.3	991	64.0	45.2
+			30	70	-	100	127.0	163	61.4	44.2
yht.			268	449	17	734	126.4	1154	63.6	45.1
Kasvatusvaihe III										
yht.			30	70	-	100	127.0	163	61.4	44.2
+			45	105	-	150	127.0	245	61.4	44.2
yht.			75	175	-	250	127.0	407	61.4	44.2
+			75	175	-	250	127.0	407	61.4	44.2
yht.			150	350	-	500	127.0	814	61.4	44.2
+			-	-	300	300	163.0	430	69.9	36.0
yht.			150	350	300	800	140.5	1244	64.3	41.1
+			-	-	200	200	163.0	286	69.9	36.0
yht.			150	350	500	1000	145.0	1530	65.4	40.1
+			-	-	200	200	163.0	286	69.9	36.0
yht.			150	350	700	1200	148.0	1816	66.1	39.4

Liite 6. Säilörehuvaltainen ruokinta B. Rehun käyttö lisäyksinä (+) ja kumulatiivisena summana (yht.) kasvatusvaiheittain sekä vastaava ry:n keskihinta. Peräkkäisten kasvatusvaiheiden viimeinen ja ensimmäinen havainto ovat päällekkäiset. Panostaso kunkin vaiheen alussa = 0.

Rehun lisäys ja yht.	Täys- maito ry	Kuor. maito ry	Kaura ry	Heinä ry	Säilö- rehu ry	Laidun ry	ry- määrä	Yhteensä			
								Valkuais- väkevyys g srv/ry	Ka- määrä kg	Väke- vyys ry/100 kg ka	Yks. hinta p/ry
Kasvatusvaihe I											
yht.	5	33	46	13	-	-	97	172.5	106	91.5	75.9
+	-	-	40	10	69	75	194	150.4	279	69.5	41.3
yht.	5	33	86	23	69	75	291	157.8	385	75.6	52.8
+	-	-	15	5	20	40	80	151.3	115	69.6	40.6
yht.	5	33	101	28	89	115	371	156.4	500	74.2	50.2
+	-	-	6	2	7	15	30	150.5	43	69.7	40.8
yht.	5	33	107	30	96	130	401	156.0	543	73.8	49.5
+	-	-	9	3	13	25	50	151.7	72	69.6	40.5
yht.	5	33	116	33	109	155	451	155.5	615	73.3	48.5
Kasvatusvaihe II											
yht.			9	3	13	25	50	151.7	72	69.6	40.5
+			60		140		200	146.6	284	70.4	44.2
yht.			69	3	153	25	250	147.6	356	70.2	43.5
+			45	-	105	-	150	146.6	284	70.4	44.2
yht.			114	3	258	25	400	147.2	569	70.3	43.8
+			60		140		200	146.6	284	70.4	44.2
yht.			174	3	398	25	600	147.0	853	70.3	43.9
+			45		105		150	146.6	213	70.4	44.2
yht.			219	3	503	25	750	146.8	1066	70.4	44.0
Kasvatusvaihe III											
yht.			45		105		150	146.6	213	70.4	44.2
+			75		175		250	146.6	355	70.4	44.2
yht.			120		280		400	146.6	568	70.4	44.2
+			45		105		150	146.6	213	70.4	44.2
yht.			165		385		550	146.6	781	70.4	44.2
+						300	300	163.0	430	69.9	36.0
yht.			165		385	300	850	152.4	1211	70.2	41.3
+						200	200	163.0	286	69.9	36.0
yht.			165		385	500	1050	154.4	1497	70.1	40.3
+						200	200	163.0	286	69.9	36.0
yht.			165		385	700	1250	155.8	1783	70.1	39.6

