

MAATALOUDEN TALOUDELLISEN
TUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA N:o 70

*THE AGRICULTURAL ECONOMICS
RESEARCH INSTITUTE, FINLAND
RESEARCH REPORTS No. 70*

TYPPILANNOITTEIDEN TALOUDELLISESTA KÄYTÖSTÄ
KOETULOSTEN PERUSTEELLA

TUOMO HEIKKILÄ

HELSINKI 1980

Maatalouden taloudellisen
tutkimuslaitoksen

TIEDONANTOJA N:o 70

The Agricultural Economics
Research Institute, Finland

RESEARCH REPORTS No. 70

TYPPILANNOITTEIDEN TALOUDELLISESTA KÄYTÖSTÄ
KOETULOSTEN PERUSTEELLA

TUOMO HEIKKILÄ

Helsinki 1980

ISBN 951-9199-69-1

Valtion painatuskeskus 1980

Sisällysluettelo

	Sivu
1. Johdanto	1
2. Lannoitteiden käyttö Suomessa	1
2.1. Pääravinteiden kokonaiskäyttö	3
2.2. Alueelliset erot lannoitteiden käytössä	4
2.3. Kasvikohtainen lannoitteiden käyttö	5
2.4. Lannoitteiden käyttö Pohjoismaissa	6
3. Satoon vaikuttavat tekijät	7
3.1. Fysikaaliset ja kemialliset tekijät	7
3.2. Taloudelliset tekijät	8
3.3. Tutkijoiden käsityksiä satotason kehityksestä Suomessa	9
4. Kasvituotannon tuotantofunktio	12
4.1. Tuotantofunktion peruskäsitteitä	12
4.2. Tuotantofunktion määrittely	14
4.2.1. Selittävien muuttujien valinta	14
4.2.2. Funktion valinta	15
4.3. Parametrien estimointi	16
4.4. Taloudellisen optimin määrittely	17
5. Tutkimusaineisto ja tutkimustulokset	18
5.1. Tutkimusaineisto	18
5.2. Tuotantofunktion funktiomuodon valinta	21
5.3. Tuotantofunktioiden estimointi	22
5.4. Optimaalinen typpilannoitus	27

6. Tulosten tarkastelu	30
6.1. Peltojemme ravinnetilanne	30
6.2. Kasvien viljelyalueet ja tutkimusaineisto	31
6.3. Viljelylasvien nykyinen satotaso ja tutkimuksen mukaiset optimisadot	32
6.4. Satotaso ilman lannoitusta	34
6.5. Koetulokset, nykyinen typpilannoitustaso ja nykyiset typpilannoitussuositukset	34
6.6. Typen hinnan voimakas nousu	35
7. Suomen ravintotuotantomalli	36
7.1. Ravintotuotantomallin hehtaarisadot	37
7.2. Tutkimustulokset ja ravintomalli	38
8. Yhteenveto ja päätelmät	42
Kirjallisuus	44
Liitteet	

1. Johdanto

Kasvituotantoon vaikuttavien eri tekijöiden tunteminen luo perustan pyrittäessä parempiin satoihin ja parempaan taloudelliseen tulokseen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan typpilannoituksen vaikutusta sadon määräytymiseen ja etsitään optimaalista typpilannoitustasoa.

Tutkimusmateriaalina käytetään jo suoritettuja lannoituskokeita ja mukaan otetaan yleisimmät viljelykasvimme. Tarkasteltavina ovat ruis, kevätvehnä, ohra, kaura, kevättrypsi, kevätrapsi, heinä ja säilörehu. Tarkastelun ulkopuolelle jäävät mm. sokerijuurikas ja peruna, joista ei ollut käytettävissä koetuloksia ja joiden satotasoon vaikuttavat ehkä muut tekijät enemmän kuin typpilannoitus. Tutkimus perustuu koekentillä suoritettuihin lannoituskokeisiin, eikä tuloksia voi sellaisinaan soveltaa käytännön olosuhteisiin maataloilla. Tämän tutkimuksen erät tarkoitus onkin lannoitteiden ja sadon välisen suhteen selvittelyssä tarvittavien tutkimusmenetelmien kehittäminen. Työssä tarkastellaan lyhyesti myös typpilannoitteen hinnanmuutoksen vaikutusta lannoitusoptimiin.

Tutkimuksen lopuksi esitetään sovellutus, jossa saatuja tuloksia hyväksi käyttäen määrätään Suomen ravintotuotantomalliin satotasoa ja sen kehitystä kuvaava alamalli.

2. Lannoitteiden käyttö Suomessa

Voidakseen muuntaa auringon säteilyenergian yhteyttämisreaktiossa kemialliseksi energiaksi, jota kasvit itse sekä eläimet pystyvät käyttämään hyväkseen, tarvitsevat kasvit noin kahtakymmentä alkuainetta. Koska suurin osa kasvituotteina maasta otettavista ravinteista ei tänä päivänä palaa pellolle luonnon kiertokulkuun, annetaan uusien satojen vaatimat ravinteet väkilannoitteina. Lannoitteiden käyttö aiheuttaa osan maatalouden tuotantokustannuksista. Tarkasteltaessa lannoitteiden hankintakustannusten osuutta tuotantokustannuksista esim. 20 ha viljelmämallin avulla (KOM-MIET.

1975:124, ss. 95-98), saadaan vuonna 1975 leipäviljan lannoite-kustannusten osuudeksi 9.1 % ja rehuviljan 10.3 % tuotantokustannuksista. Viljelmämallissa leipäviljan tuotantokustannukset on laskettu rukiin ja kevätvehnän keskimääräisten ja rehuviljan ohran ja kauran keskimääräisten kustannusten mukaan.

Lannoitteiden hinnat ovat nousseet voimakkaasti. Muutettaessa viljelmämallien kustannukset vuoden 1979 hintatasoon, saadaan leipäviljalle lannoitekustannuksen osuudeksi 11.2 % ja rehuviljalle 12.4 % tuotantokustannuksista. Näissä esimerkkitapauksissa lannoitekustannuksen osuus on neljässä vuodessa noussut 2.1 %-yksikköä.

Sadontarkkailutilojen tietojen perusteella lannoitekustannukset olivat vuonna 1978 rukiilla 18.3 % tuotantokustannuksista, kevätvehnällä 16.4 %, ohralla 15.6 %, kauralla 15.4 %, rypsilä 20.6 %, rapsilla 21.7 %, heinällä 19.0 % ja säilörehulla 22.0 %. Tulokset ovat korkeampia kuin viljelmämalleilla ja tiloilla keskimäärin, sillä sadontarkkailutilat ovat yleensä voimaperäisesti viljeltyjä. Vuonna 1978 lannoitekustannus oli kaikilla kirjanpitotiloilla keskimäärin 7.7 % ja viljatiloilla 14.3 % tuotantokustannuksista. Viljatiloiksi on luettu tilat, joilla viljat tuoton osuus kokonaistuotosta on vähintään 45 %.

Lannoitteiden käyttöä voidaan tarkastella myös lannoitteiden myyntitilastojen avulla. Näissä tilastoissa ei tosin näy kaupan eikä yksityisten viljelijöiden varastoista seuraavan vuoden käyttöön siirtyviä lannoite-eriä. Taulukoissa 1 ja 2 ja kuviossa 1 esitettävät tiedot ovat Kemiran toimittamia väkilannoitemääriä. Voimakas myyntimäärien nousu lannoitusvuosina 1973-74 ja 1974-75 ja toisaalta selvä myyntimäärien lasku seuraavina vuosina liittyy energiakriisiin ja sitä seuranneisiin hintamuutoksiin. Myyntimäärissä tapahtuneisiin heilahteluihin on esitetty erilaisia tulkintoja. On mm. väitetty, että huippuvuosina olisi ostettu lannoitteita varastoon ja varastot olisi seuravina vuosina purettu. Näin lienee tapahtunut, joskaan tutkimustuloksia tästä ei ole käytettävissä.

2.1. Pääravinteiden kokonaiskäyttö

Väkilannoitteita alettiin käyttää Suomessa 1800-luvun alussa ja aluksi ne sisälsivät lähinnä fosforia. Ennen ensimmäistä maailmansotaa väkilannoitteita käytettiin vielä vähän. Toisen maailmansodan jälkeen on väkilannoitteiden ja erityisesti typen käyttö lisääntynyt voimakkaasti. Typeä on käytetty vuonna 1979 noin kaksikymmentä kertaa enemmän kuin vuonna 1949. Vuodesta 1949 fosforin käyttö on vuoteen 1979 mennessä lisääntynyt noin kolminkertaiseksi ja kalin käyttö noin kuusinkertaiseksi.

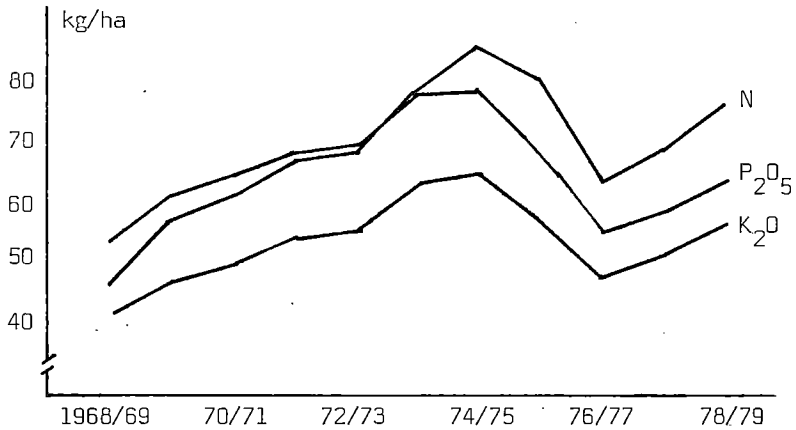
Karjanlanta sisälsi 1930-luvulla lähes 80 %, 1950-luvun alkuvuosina yli 50 % ja 1960-luvun alussa noin 30 % lannoitteiden ravinnemäärästä.

Satojen sisältämä keskimääräinen pääravinnemäärä esim. 4000 kilon vehnäsadossa (jyvät ja oljet) on 80 kg typeä, 12 kg fosforia ja 40 kg kalia. Vastaavansuuruinen ohrasato sisältää 70 kg typeä, 12 kg fosforia ja 30 kg kalia (COOKE 1972, s. 3).

Taulukko 1. Pääravinteiden myynti (tn/milj. kg) Suomessa 1889-1979.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1889		530 tn	
1899	44 tn	2 832 "	385 tn
1909	337 "	5 027 "	744 "
1919	481 "	3 303 "	638 "
1929	2 529 "	27 365 "	9 967 "
1939	7 823 "	26 648 "	4 078 "
1949	9 149 "	59 169 "	21 669 "
1959	52 660 "	96 399 "	63 420 "
1967-68	116 milj.kg	149 milj.kg	116 milj.kg
1968-69	131 "	157 "	121 "
1969-70	160 "	174 "	132 "
1970-71	169 "	180 "	136 "
1971-72	182 "	183 "	141 "
1972-73	182 "	182 "	144 "
1973-74	206 "	201 "	159 "
1974-75	226 "	201 "	165 "
1975-76	199 "	171 "	146 "
1976-77	161 "	139 "	121 "
1977-78	168 "	143 "	127 "
1978-79	183 "	152 "	136 "

Väkilannoitteissa myytyjen pääravinteiden kokonaismäärissä huomio kiinnittyy vuosien 1973-74 ja 1976-77 lukuihin. Kyseiset vuodet erottuvat selvästi myös kuviossa 1, jossa tarkastellaan myytyjä ravinnemääriä hehtaaria kohti laskettuina.



Kuvio 1. Pääravinteiden myynti vuosina 1968-79, (kg/ha).

2.2. Alueelliset erot lannoitteiden käytössä

Väkilannoitteiden käytössä voi havaita myös alueittaisia eroja. Tarkasteltaessa pääravinteiden myyntiä peltohehtaaria kohti lannoitusvuonna 1978-79 eri maatalouskeskusten alueilla (taul. 2) typen (N) pienimmän ja suurimman käytön erotus on lähes 30 kg. Vastaavasti fosforilla (P₂O₅) se on n. 28 kg sekä kalilla (K₂O) n. 23 kg. Myös pääravinteiden keskinäiset suhteet vaihtelevat maatalouskeskuksittain (liite 1).

Taulukko 2. Pääravinteiden myynti eri maatalouskeskusten alueille lannoitusvuonna 1978-79, (kg/ha).

Maatalouskeskus	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Uudenmaan mtk ja Nylands Sv. Lbs.	85.4	72.6	62.0
Varsinais-Suomen mtk ja Finska Hush.	82.0	79.6	68.1
Satakunnan	72.2	73.4	65.1
Hämeen läänin	80.2	74.8	62.0
Pirkanmaan	68.9	51.3	45.3
Itä-Hämeen	74.9	59.2	50.7
Kymen läänin	78.9	59.9	52.3
Mikkelin läänin	71.6	53.7	50.0
Kuopion läänin	91.6	56.4	52.9
Pohjois-Karjalan	78.4	54.8	49.7
Keski-Suomen	70.7	52.6	50.2
Etelä-Pohjanmaan	73.2	62.3	54.1
Österbottens Sv. Lbs.	52.4	57.0	50.3
Oulun	81.6	60.0	60.6
Kainuun	81.0	55.1	56.8
Lapin läänin	58.9	52.2	55.2

Eräs väkilannoitteiden käytön alueittaisia eroja aiheuttava tekijä on erisuuri ravinteiden tarve. Tehtyjen tutkimusten (vrt. esim. KURKI 1972, ss. 54-62) mukaan kalipitoisuus on selvästi korkein savimaissa, erityisesti aitosavessa, ja heikoin eloperäisissä maissa. Huonoin kalitilanne on Pohjois-Suomessa. Liukenevan fosforin määrä on savimaissa huomattavasti pienempi kuin karkeissa kivennäismaissa, vaikka kokonaisfosforimäärät voivat olla toisin päin. Typen kohdalla todetaan, että maan humuspitoisuuden noustessa typpipitoisuus yleensä nousee ja lannoituksen tarve alenee. Luonnostaan korkein typpipitoisuus on mutasuoturpeessa.

2.3. Kasvikohtainen lannoitteiden käyttö

Vuonna 1975 suoritettu otantatiedustelu (PSM:n TUTK. 1976) antaa eräitä viitteitä lannoitteiden käytöstä kasveittain. Sen mukaan käytettiin koko maassa pääravinteita keskimäärin seuraavasti:

	N	P	K
Viljat	83	42	63
Nurmet	89	21	35

Vuonna 1977 käytettiin Maatalouskeskusten Liiton keräämien tietojen mukaan 197:llä Uudellamaalla, Hämeessä ja Varsinais-Suomessa sijaitsevalla sadontarkkailutilalla keskimäärin taulukossa 3 esitetyt määrät pääravinteita. Sadontarkkailutilojen viljely on keskimääräistä voimaperäisempää, mikä on syytä ottaa huomioon lukuja tarkasteltaessa.

Taulukko 3. Ravinteiden käyttö kasveittain eteläsuomalaisilla sadontarkkailutiloilla vuonna 1977, (kg/ha).

	N	P	K
Ruis	122	42	63
Kevätvehnä	102	47	70
Ohra	84	40	62
Kaura	77	38	60
Rypsi	105	43	73
Rapsi	116	37	65
Heinä	127	29	49
Säilörehu	182	35	68

2.4. Lannoitteiden käyttö Pohjoismaissa

Taulukossa 4 esitetään pääravinteiden käyttömäärät Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Tanskassa. Taulukon luvut on poimittu FAO:n tilastoista (FAO 1979, s. 18).

Taulukko 4. Pääravinteiden käyttö Pohjoismaissa vuosina 1961-77, (kg/ha).

		1961-65	1967	1972	1977
Suomi	N	30.1	40.2	67.3	66.1
	P ₂₀₅	44.6	56.1	68.2	56.1
	K ₂₀₅	34.5	42.2	53.9	49.8
Ruotsi	N	39.4	58.5	76.8	86.2
	P ₂₀₅	32.9	41.6	49.5	47.1
	K ₂₀₅	27.8	38.3	44.8	43.0
Norja	N	67.8	79.9	99.1	126.5
	P ₂₀₅	55.2	62.4	64.3	71.9
	K ₂₀₅	62.6	69.1	84.7	97.1
Tanska	N	57.1	86.2	123.6	141.1
	P ₂₀₅	43.4	44.3	53.8	53.1
	K ₂₀₅	64.2	64.4	76.4	66.9

Tanskassa ja Norjassa käytetään tilaston mukaan kaksi kertaa enemmän typpeä kuin Suomessa. Fosforin ja kalin käyttö sensijaan on meillä pohjoismaisella tasolla. Tosin niitäkin Norjassa käytetään selvästi eniten.

3. Satoon vaikuttavat tekijät

3.1. Fysikaaliset ja kemialliset tekijät

Kasvien kasvua ja siten myös kasvituotantoa säätelevät monet eri tekijät. Kasvi itsessään biologisine ominaisuuksineen ohjaa kasvutapahtumaa itämisestä uuden siemenen tuottoon asti. Kasvin sisäisten ominaisuuksien lisäksi kasvuun ja satoon vaikuttavat monet ulkoiset olosuhteet.

Typpeä on kaikissa kasvinosissa. Se on välttämätön aineosa valkuaisaineissa, jotka puolestaan syntyvät kasvin lehdissä. Rungas typen saanti rehevöittää kasvua, mutta samalla solujen seinämät tulevat ohuiksi, varsinkin, jos kasvi ei saa muita ravinteita riittävästi. Seurauksena saattaa viljoilla olla lakoutuminen ja tuleentumisen myöhästyminen. Typen puutteen seurauksena solut jäävät pienikokoisiksi, mutta paksuseinäisiksi ja kasvien kuitupitoisuus tulee korkeaksi. Typen puute aiheuttaa myös enneaikaista tuleentumista.

Kasvien kehitykseen vaikuttavat fysikaaliset ja kemialliset tekijät voidaan luokitella säätekijöihin ja maaperätekijöihin (EVANS 1963, s. 6). Ensin mainittuun kuuluvat: säteily, pilvisuus, sadanta, ilman lämpötila, ilman kosteus, ilman CO₂-pitoisuus ja ilman saastuneisuus. Jälkimmäiseen kuuluvat taas: maan kiinteiden osasten koostumus, maan rakenne, maan lämpötila, maan kosteus, maanesteen koostumus sekä maassa olevan ilman koostumus, erityisesti hiilidioksidi- ja happipitoisuus.

3.2. Taloudelliset tekijät

Kasvinviljelyn tai yksityisen kasvin kannattavuuden selvittäminen on käytännössä usein hankala tehtävä. On helpompi selvittää koko talouden kannattavuus. Tämä johtuu siitä, että eri kasvien kustannuseristä ei aina löydy tarkkoja tietoja, vaikka tilan kustannukset voidaan määrittää melko tarkasti. Lisäksi epätarkkuutta voi syntyä rakennuksista, koneiden käytöstä, erilaisista yleiskustannuksista jne. aiheutuvien menojen jaosta. Kasvinviljelyn kustannusten jaottelussa vaikeutena on lisäksi lannoitekustannusten jakaminen eri kasvien kesken, sillä tietyille kasville annettu lannoitus ei tule kokonaan sen hyväksi, vaan hyödyttää myös seuraavia kasveja. Vastaavasti lannoituksen ollessa riittämätön, kasvi kuluttaa maassa ennestään olevia ravinteita. Kasvinviljelyä koskevissa tuotantokustannuslaskelmissa voidaan kustannukset ryhmittää esim. siemen-, lannoite-, kasvinsuojeluaine-, työ- ja yleiskustannuksiin (SUOMELA 1964, s. 280).

BRADFORD ja JOHNSON (1953, s. 41) jakavat maataloustuotannon taloudellisuuteen vaikuttavat tekijät seuraavasti: maa, perusparannukset, työvoima, koneet ja kalusto, siemenet ja lannoitteet yms., kotieläimet, käyttöpääoma sekä viljelijäperheen tarpeet ja toiveet.

Viljelijän on pääteöksenteossaan jatkuvasti pohdittava miten paljon tuottaa kutakin tuotetta, paljonko käyttää kutakin tuotantopainosta ja miten saada toimenpiteillään aikaan tuottava yhdistelmä. Pientilavaltaisessa maataloudessamme kasvituotannon hyvä kannattavuus ei aina riitä ratkaisun perustaksi. Kasvituotannon järjestämisessä on pyrittävä turvaamaan myös riittävä määrä työtä, josta saadaan tyydyttävä tulo. Tuloksena voi olla tilanne, jossa kannattavuus on heikko, mutta kokonaistyötulo tyydyttävä (RYYNÄNEN ja PÖLKKI 1973, s. 143).

3.3. Tutkijoiden käsityksiä satotason kehityksestä Suomessa

Eri tekijöiden vaikutusta maamme satotasojen kehitykseen tarkastellaan seuraavaksi kahden tutkimuksen valossa. Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTTK) kasvinviljelylaitoksen tutkimuksessa (MELA ja HAAPALAINEN 1976) satotasoon vaikuttavat tekijät on jaoteltu seuraavasti: lannoitus, lannoitustekniikka, kasvinjalostus, sadetus, rikkakasvien torjunta, kasvunsäätteen, salaojitus, kalkitus sekä muut tekijät.

Tutkimuksen mukaan typpilannoitus määrää paljolti viljojen ja nurmien sadon (MELA ja HAAPALAINEN 1976, s. 7). Typpilannoituksen lisääntyessä kasvaa viljan lakoutumisalttius, joka rajoittaa käytettävää lannoitemäärää. Toisaalta uudet hyväkortiset lajikkeet ja lakoutumista vähentävän kasvunsäätteen käyttö ovat viime vuosina parantaneet merkittävästi viljojen laonkestävyyttä ja mahdollisuuksia tuottaa korkeita satoja runsaalla typpilannoituksella. Sensijaan tutkimuksen mukaan viljojen fosfori- ja kalilannoituksen lisäämisellä ei enää voida saada aikaan mainittavia sadonlisäyksiä, kun taas nurmien lannoitusta lisäämällä voidaan niiden keskisatoja kohottaa.

Mainitun selvityksen mukaan rivi- ja sijoituslannoituksella saadaan kymmenen vuoden kuluessa, vuodesta 1975 lähtien, 2-3 % kevätviljojen satotason nousu. Sen sijaan syysviljojen satoon se ei juuri vaikuta, koska pääosa typestä annetaan keväällä pintalannoituksena.

Vuoden 1957 jälkeen kauppaan tulleet lajikkeet ovat nostaneet satotasoa 2-10 % viljelykasvista riippuen. Perunan ja rukiin satotason voidaan olettaa jalostuksen ansiosta nousevan huomattavasti lähivuosina, muiden viljojen vähemmän ja nurmiviljelyssä on odotettu nousu vain 2-3 %. Jalostuksella on ollut ja tulee edelleen olemaan suuri epäsuora viljojen satotasoa kohottava vaikutus.

Sadetuksen tarve riippuu luonnollisesti kasvukauden sademäärästä. Meillä sadetuksen tarve painottuu alkukesään. Vuoteen 1985 mennessä arvioidaan Etelä-Suomessa kevätiljajien sadon lisääntyvän ainakin 30 % sadetuksen ansiosta. Tutkimuksen mukaan säilörehunurmien sadettaminen 2-3 kertaa kesässä lisää niiden satoa noin 25 % Etelä-Suomessa. Kuivina kesinä sadonlisäys voi olla suurempikin.

Rikkaruohojen torjunnasta voidaan todeta, että esim. vuonna 1974 lähes kolme neljännestä vilja-alasta käsiteltiin herbisideillä. Herbisidien käytön on arvioitu lisäävän kevätiljajien satotasoa keskimäärin noin 10 % vuoteen 1985 mennessä.

Rukiin ja vehnän kokonaisalasta käsiteltiin vuonna 1974 noin 25 % lakoutumista vähentävällä kasvunsäätelillä. Mikäli kasvunsäätelien käyttö kasvaa vuosien 1965-74 kehityksen mukaisesti, käytetään niitä vuonna 1985 yli puolella leipävilja-alasta. Lakoutumisen esto mahdollistaa lisääntyvän typpilannoituksen. Lakoutumisen eston satotasoa kohottava vaikutus ilmeneekin ensisijaisesti lisätyn typpilannoituksen aikaansaamana hehtaarisadon suurenemisena.

Salaojitus lisää kasvullista pinta-alaa, mahdollistaa tehokkaiden viljelymenetelmien käytön, estää rikkakasvien haitallista leviämistä ja lisää näin viljelykasvien hehtaarisatoja. Erityisesti se säästää ihmis- ja konetyökustannuksia. Vuonna 1975 27 % viljellystä alasta oli salaojitettua. Salaojituksen voidaan olettaa lisäävän peltoviljelymme keskimääräistä satotasoa noin 3-4 % kymmenvuotiskautena 1976-85.

Kalkituksella pystyttäisiin ilmeisesti kohottamaan huomattavasti happamuudelle arkojen ohran, palkokasvien ja vehnän satotasoa. Happamuutta paremmin kestävien lajien, kuten rukiin, kauran, perunan ja nurmikasvien satoon kalkituksen vaikutus sensijaan jäisi vähäisemmäksi. Satotason ei kalkituksen ansiosta arvioida sanottavasti kohoavan.

Muina satotasoon vaikuttavina tekijöinä em. selvityksessä mainitaan mm. viljelyalueen muuttuminen. Uusien tottumattomien viljelijöiden tullessa mukaan tuotantoon voidaan satotason kasvun olettaa hidastuvan. Pääosa satojen vuotuisesta vaihtelusta aiheutuu säätekijöistä. Pitkällä aikavälillä ilmasto muuttuu varsin vähän ja vaikutus satotasoon tasoittuu. Tilakoon kasvun ja viljelijäväestön ikärakenteen ja koulutusasteen vaikutus satotasoon sisältyy edelläesitettyihin arvioihin viljelymenetelmien kehityksestä.

Yhteenvedona selvityksen mukaan näyttäisi siltä, että peltokasviemme satotason kehitykseen vuoteen 1985 mennessä vaikuttaisivat eniten typpilannoituksen (ja lannoituksen yleensä) lisäksi kasvinjalostus sekä sadetuksen ja salaojituksen yleistyminen. Vähemmän vaikutusta satotason nousuun näyttäisi olevan kalkitusella sekä fosfori- ja kalilannoituksen, rikkakasvien torjunnan ja kasvunsäätöiden käytön lisääntymisellä.

VARIS (1976) tarkastelee viljasatojen nousun edellytyksiä ja esittää seuraavan yhteenvedon tärkeimpien tekijöiden vaikutuksesta:

	Hehtaarisadon nousu kg/10 vuotta
Kasvinjalostus	125
Alueelliset ja lajimuutokset	15
Lannoitus	200
Sadetus	175
Kasvinsuojelu	50
Salaojitus	70
	<hr/>
	635

Arvion mukaan satotaso nousisi melkoisesti, 2.5 % vuodessa. Tärkein nousun aiheuttaja on lannoitus (31.5 % noususta) ja seuraavina ovat sadetus (27.5 %) ja kasvinjalostus (19.7 %).

Arvioitaessa edellä esitettyjen eri tekijöiden määrällistä vaikutusta satotasoon ne on otettava tietyin varauksin. Tuskin voidaan ajatella, että yksittäisten tekijöiden sadonlisäysvaikutukset olisivat yhteenlaskettavissa sellaisinaan. Lopullinen sadonlisäys jäänee odotettua alhaisemmaksi useiden eri tekijöiden vaikuttaessa satoon ja sen lisäykseen.

4. Kasvituotannon tuotantofunktio

Tuotantopanos-tuotossuhdetta eli tuotantofunktiota on tutkittu varsin laajasti. Siksi ei tässäkään ole tarvetta pyrkiä muodostamaan uutta teoriaa. Ongelmana on valita tähän tarkoitukseen soveltuva tuotantofunktio laajasta valikoimasta. Tuotantofunktioiden lähempi tarkastelu kertoo, ettei mikään niistä kuvaa ilmiötä tyhjentävästi. Käytännön tutkimuksiin sovellettaessa jokaisessa funktiossa lienee erilaisia puutteita ja rajoituksia.

Tuotantofunktiota hyväksikäyttäen on mahdollista määrittää maksimituotos, joka voidaan saavuttaa tietyillä panosmäärillä. Edellytyksenä on panosten optimaalinen käyttö, ts. rajatuotosten suhteiden vastaaviin tuotannontekijöiden hintoihin on oltava samat. Tilatasoa ajatellen optimaalisen tuotoksen saavuttamiseksi viljelijän olisi tunnettava panos-tuotos-suhteet ja tuotannontekijöiden hinnat. Lisäksi panosten on oltava jaollisia. Nämä oletukset tuskin aina toteutuvat ja siksi kokeelliset tuotantofunktiot eivät täsmällisesti vastaa teoriaa, johon ne perustuvat. Kasvituotannon alalla on tuotantofunktioita sovellettu useissa eri tutkimuksissa (vrt. esim. HJELM 1953, HEADY ja DILLON, 1961, IHAMUOTILA 1970, ROUHIAINEN 1972 ja BINDER ja ORTNER 1978).

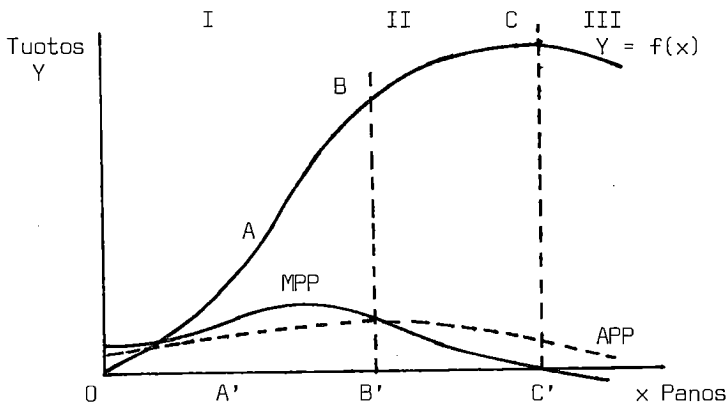
4.1. Tuotantofunktion peruskäsitteitä

Tuotantofunktio määritellään (HEADY ja DILLON 1961, ss. 74-75) tuotoksen riippuvuutena käytetyistä tuotantopanosista. Matemaattisesti ylläoleva ilmaistaan muodossa $Y = f(x_i)$, missä Y = tuotos, x_i = tuotantopanoset ja $i = 1, 2, \dots, n$. Käytännössä ei kaikkia tuotannontekijöitä voida läheskään aina ottaa huomioon. Jos selittävät muuttujat $x_{j+1}, x_{j+2}, \dots, x_n$ jäävät mallista pois, kirjoitetaan tuotantofunktio muotoon $Y = g(x_i) + u$, missä $i = 1, 2, \dots, j$ ja u = virhetermi. Virhetermi u , eli funktion selittämättä jäävä osa, sisältää tekijöiden $x_{j+1}, x_{j+2}, \dots, x_n$ vaikutuksen. Lisäksi voidaan käyttää pystyviivaa osoittamaan, että vain tekijä x_i muuttuu muiden selittävien muuttujien pysyessä kiinteinä

$$Y = \phi(x_i | x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n).$$

Kuviossa 2 esitetään eräs yleinen tuotantofunktio, jossa tuotomäärä Y riippuu käytetyn tuotantopanosten x määrästä. Panosta x lisättäessä kasvaa tuotos aluksi kiihtyen, kunnes panosmäärän A' jälkeen tuotoksen kasvu hidastuu. Panosmäärällä C' saavutetaan suurin tuotos, jonka jälkeen panoksen lisäys vaikuttaa tuotosta alentavasti.

Rajatuotoskäyrä (differentiaalirajatuotoskäyrä) MPP kuvaa tuotoksen lisäystä kullakin panostasolla. Rajatuotoskäyrän määrittelee tuotantofunktion 1. derivaatta panoksen suhteen (esim. SANDQVIST 1961, s. 12), toisin sanoen: $MPP = \frac{dY}{dx}$.



Kuvio 2. Tuotantofunktio $Y = f(x)$

Jokaisen tuotantopanoksen lisäyksen lisätessä tuotosta enemmän kuin edellisen, on rajatuotos kohoava. Tällöin tuotoskäyrä kasvaa kiihtyen. Saavutettaessa yhä pienempi tuotoksen lisäys kullakin panoksen lisäyksellä, on kyseessä aleneva rajatuotos. Suurin rajatuotos saavutetaan tuotoskäyrän käännepisteessä A panosmäärällä A' . Tuotoksen maksimikohdassa rajatuotos, eli tuotantofunktion derivaatta $\frac{dY}{dx} = 0$.

Keskimääräinen tuotos APP osoittaa kokonaistuotosta panosyksikköä kohden kullakin tuotantopanostasolla. Sen määrittelee yhtälö $APP = \frac{Y}{x}$. Tuotantopanosta lisättäessä keskimääräinen tuotos kohoaa niin kauan kuin $MPP > APP$. Kuviossa panosyksikön aikaansaama maksimituotos on tuotoskäyrän pisteessä B. Lisättäessä tuotantopanosten määrää pisteen B' yli keskimääräinen tuotos alenee, koska $MPP < APP$.

Esitetty tuotoskäyrä on rajatuotosta ja keskimääräistä tuotosta osoittavien käyrien perusteella jaettu kolmeen toiminta-asteeseen. Alueella I keskimääräinen tuotos kohoaa ja saavuttaa maksimin panoksella B'. Toiminta tämän panostason 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.

Tuotantopanoksen lisäyksen vaikutusta tuotoksen muutokseen voidaan tarkastella myös jouston avulla. Tuotoksen Y jousto tuotantopanoksen x suhteen määritellään seuraavasti: $E = \frac{dY/Y}{dx/x} = \frac{x}{Y} \frac{dY}{dx}$. Jousto ilmaisee esim. montako prosenttia tuotos muuttuu tuotantopanoksen muuttuessa prosenttiyksikköä verran. Jousto siis ilmaisee tuotoksen suhteellista muutosta, rajatuotos puolestaan tuotoksen absoluuttista muutosta.

4.2. Tuotantofunktion määrittely

4.2.1. Selittävien muuttujien valinta

Ennenkuin tuotantofunktiota voidaan estimoida, on määriteltävä riippuva ja riippumattomat muuttujat sekä funktion muoto. Muuttujien ja funktiomuodon valintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska tehdyt ratkaisut vaikuttavat merkittävästi saataviin tuloksiin.

Tutkittava ongelma itsessään antaa melko selvät suuntaviivat siihen voimakkaimmin vaikuttavien muuttujien valintaan. Siten tutkija voi tuntiessaan tuotantoprosessin valita malliin loogiset muuttujat. Ongelma on vaikeampi jos tuotantofunktioon vaikuttavia muuttujia tai niiden suuruutta ei pystytä määrittämään.

Selittävien muuttujien valinnassa voidaan käyttää apuna tilastollisia menetelmiä. Faktorianalyysin (esim. KETTUNEN ja TORVELA 1970. ss. 34-48) avulla voidaan saada tukea suoritetuille muuttujavalinnoille tai se voi tuoda esiin uusia selittäviä muuttujia. Lisäksi tällä menetelmällä on mahdollista saada a priori tietoja eri muuttujien suhteellisesta tärkeydestä.

Askeltavassa regressioanalyysissä joka kierroksella pudotetaan pois mallia heikoiten selittävä muuttuja ja näin saadaan esille mallia parhaiten selittävät muuttujat. Valikoiva regressioanalyysi valitsee kaikkien esitettyjen muuttujien joukosta tiettyjen kriteerien mukaiset muuttujat, jotka parhaiten selittävät riippuvan muuttujan vaihtelut.

Käytettäessä tilastollisia menetelmiä, on pidettävä mielessä, ettei niiden avulla voida määrittellä, mitä muuttujia on alunperin otettava tarkasteltavaksi.

4.2.2. Funktion valinta

Funktion valinta on jossain määrin subjektiivinen, sillä tähän tarkoitukseen ei ole yleispätevää keinoa. Itse tutkittava ongelma antaa usein parhaat viitteet. Maataloustuotannossa ilmenevä vähenevä rajatuotos merkitsee sitä, että on käytettävä funktiomuotoja, jotka myös antavat alenevan rajatuotoksen. Funktion todennäköistä muotoa voidaan tutkia mm. graafisen tarkastelun avulla, joskin useamman muuttujan funktiossa tämä on hankalaa. Voidaan myös estimoida useita funktiomuotoja ja valita näistä tiettyjen kriteerien avulla tarkoitukseen sopivin.

Seuraavassa luettelo (VESTERGAARD JENSEN 1959, s. 160) yleisistä tuotantofunktioityypeistä, jotka täyttävät vähenevän rajatuotoksen vaatimuksen. Lisäksi ensimmäisenä on lineaarinen tuotantofunktio, jonka rajatuotos on vakio: $Y = a+bx$, $Y = a+bx+cx^2$, $y = a+bx+cx^{1/2}$, $Y = \frac{ax}{b+x}$, $Y = ax^b$, $Y = ax^b e^{cx}$.

Yllämainitut yhden muuttujan funktiot voidaan muuntaa useamman muuttujan funktioiksi, joita käytännössä usein tarvitaan. Esimerkiksi ensimmäinen ja kaksi viimeistä ovat useamman muuttujan funktioina:

$$Y = a + \sum_i b_i x_i, \quad Y = a \prod_i x_i^{b_i}, \quad Y = a \prod_i x_i^{b_i} e^{c_i x_i}.$$

Funktioihin voidaan sisällyttää selittävien muuttujien ristitermejä $x_i x_j$, $i \neq j$, ilmentämään yhteisvaikutusta, joka ei välttämättä muuten tule esiin (esim. HEADY ja DILLON 1961, ss. 88-93 ja RYYNÄNEN 1970, ss. 20-26).

4.3. Parametrien estimointi

Kun on valittu ongelmaa kuvaava funktio ja muuttujat, on seuraavaksi määriteltävä tuntemattomille parametreille estimaatit. Matemaattisen tilastotieteen eräs päätehtävä on kehittää menetelmiä, joiden avulla näille tuntemattomille parametreille saadaan käytettyjen kriteerien mukaan optimaaliset arviot eli estimaatit. Erityisesti moniulotteisiin havaintoaineistoihin liittyvissä estimointitehtävissä, esim. regressioanalyysin yhteydessä, käytetään usein pienimmän neliösumman menetelmää. Muut menetelmät antavat periaatteellisista eroistaan huolimatta useissa tärkeissä tapauksissa täsmälleen samat estimaatit (VASAMA ja VARTIA 1973, s. 443).

Regressioanalyysissä oletetaan selitettävän muuttujan riippuvuuden selittävästä muuttujasta olevan lineaarista, ts. regressiofunktio on muotoa $Y = a + \sum_i b_i x_i + u$.

Funktion virhetermin oletetaan täyttävän seuraavat vaatimukset:

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

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

Jotta regressiokertoimille saadaan harhattomat estimaattorit, edellytetään, että virhetermi noudattaa normaalijakaumaa, sen odotusarvo on nolla, se ei ole autokorreloitunut ja että sen varianssi on vakio. Lisäksi virhetermi ei saa olla häiritsevästi korreloitunut selittävien muuttujien kanssa (JOHNSTON 1972, ss. 11-13).

Mallin hypoteesien ja regressiokertoimien estimaattien arvostelussa käytetään tavanomaisia testisuureita. Estimointituloksen hyvyyden ja funktion selityskyvyn kuvaajana käytetään usein yhteiskorrelaatiokertoimen neliötä R^2 , joka osoittaa, kuinka suuren osan funktio selittää riippuvan muuttujan vaihtelusta. Regressiokertoimien tilastollista merkitsevyyttä voidaan tarkastella mm. Studentin t-testin avulla. Jäännöstermin mahdollisen autokorrelaation tutkimisessa voidaan käyttää Durbin-Watson testiä. Multikollineaarisuus, ts. selittävien muuttujien keskinäinen korrelaatio havainnollistetaan usein korrelaatiomatriisin muodossa.

4.4. Taloudellisen optimin määrittäminen

Tuotannon optimiaste voidaan selvittää tuotantofunktiosta (katso kuvio 2) johdetuilla tuotto- ja kustannusfunktioilla. Tuotostaso, jossa kokonaistuoton ja -kustannusten erotus on maksimissaan, määrää lyhyellä tähtäyksellä toiminta-asteen optimin. Tuotannon kohottaminen kannattaa taloudellisesti niin kauan kuin panosten lisäyksellä saatu tuotoksen lisäyksen arvo on suurempi kuin panosten lisäysten arvo.

Lannoitteita käytettäessä ovat uusklassisen tuotantoteorian edellytykset lähes täysin toteutuneet. Vähenevän lisätuoton laki on osoitettu lannoitteilla olevan voimassa (esim. WEINSCHENK 1964, s. 83 sekä RYYNÄNEN ja PÖLKKI 1973, s. 111). Ravinnemäärät ovat käytännöllisesti katsoen rajattomasti jaollisia ja yksityisiä ravinteita voidaan tietyissä rajoissa yhdistellä mielin määrin. Sadon ja lannoitteiden välinen riippuvuus on yleisessä muodossa $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, missä Y = satotaso, x_i = lannoite i ja $i = 1, 2, \dots, n$.

Käytettävien lannoitemäärien taloudellinen yhdistelmä saavutetaan, kun jokaista tuotannontekijän x_i hintaa $P(x_i)$ ja tuotteen Y hintaa $P(Y)$ sitoo riippuvuus

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} = \frac{P(x_i)}{P(Y)}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Ratkaistaessa yllä oleva n yhtälön yhtälöryhmä saadaan lannoitteiden x_i optimaaliset käyttömäärät. Optimin määrittämiseksi on siis tunnettava lannoitteiden ja tuotteen hinnat ja lisäksi funktionaalinen riippuvuus (WEINSCHENK 1964, s. 83).

5. Tutkimusaineisto ja tutkimustulokset

5.1. Tutkimusaineisto

Tämä tutkimus perustuu pääosin MTTK:n toimesta tehtyjen lannoituskoekoiden tuloksiin. Käytettävissä oli Tikkurilan, Jokioisten eri koeasemien ja kiinteiden koekenttien koetuloksia sekä kahdella toisella paikkakunnalla tehty säilörehun typpi- ja kaliumlannoituskoet. MTTK:n koetulosten lisäksi on käytettävissä Kemira Oy:n Kotkaniemen koetilalla suoritetut kevätiljojen lannoituskoeket ja Kemiran yhdessä 4H-kerhojen kanssa toteuttamat heinän lannoituskoeket (vrt. taul. 5).

Säilörehuaineiston koetulokset ilmoitetaan muista poiketen kuiva-ainekiloina hehtaaria kohti ja kaikki muu käytössä ollut koemateriaali kiloina hehtaaria kohti. Aineisto käsitellään käyttäen samoja yksiköitä kuin on lähtöaineistossa.

Tutkimukseen mukaan otetut kokeet on pääsääntöisesti lannoitettu Y-lannoksin eli niissä on huolehdittu fosforin ja kalin riittävyydestä. Kalium- ja fosforimäärien lisäämisellä nykyisestä tasosta ei enää saavuteta merkittäviä sadonlisäyksiä, mutta sensijaan typpilannoitus määrää sadon suuruuden (MELA ja HAAPALAINEN 1976, s. 7). Tutkimusaineiston lannoiteporraskokeiden Y-lannoksista on laskettu kokeissa käytetyt puhtaan typen määrät.

Yhden tai kahden vuoden koesarjat antavat kuvan kyseisen vuoden tai vuosien olosuhteiden mukaisista satotasosta ja lannoitevaikutuksista. Jotta välttyttäisiin hyvien tai huonojen vuosien aiheuttamilta vaihteluilta tai hallitsevalta vaikutukselta, on tässä tutkimuksessa pyritty käyttämään useamman vuoden kestäviä koesarjoja.

Rukiin lannoituskokeet ovat kolmelta koeasemalta. Satakunnan koeaseman kokeet on suoritettu vuosina 1974-77. Niissä on käytetty neljää lannoitustasoa: 0,50, 100 ja 150 kg N/ha. Lounais-Suomen ja Kymenlaakson koeasemien tulokset ovat vuosilta 1975-77 ja ne on toteutettu viidellä lannoitustasolla: 0,50, 100, 150 ja 200 kg N/ha. Lisäksi mainittujen kolmen koeaseman koetulosten keskiarvoja käytetään yhtenä koetulossarjana.

Kevätvehnästä on käytettävissä kaksi kymmenen vuoden koesarjaa vuosilta 1969-78. Niistä toinen on Tikkurilasta ja toinen Kotkaniemestä. Kummassakin koesarjassa on viisi lannoitus-satotasoparia, jotka Tikkurilan kokeissa ovat 0,50, 100, 150 ja 200 kg N/ha ja Kotkaniemen kokeissa 0,45, 90, 135 ja 180 kg N/ha. Lyhyempiä tässä yhteydessä tarkasteltuja koesarjoja ovat Tikkurilan, Lounais-Suomen ja Kymenlaakson koeasemien vuosien 1969-71 neljän havaintoparin sekä Jokioisten vuosien 1972-75 viiden havaintoparin koesarjat. Viimemainitussa havaintopisteet ovat 0,50, 100, 150 ja 200 kg N/ha ja edellisissä 0,50, 100 ja 150 kg N/ha.

Taulukko 5. Koepaikat

Koepaikat	Koeaika	Kasvit							
		Ruis	Kevätvehnä	Ohra	Kaura	Kevätrypsi	Kevättrapsi	Säilörehu	Heinä
Tikkurila	1969-78		X	X					
-"-	1969-71		X	X	X				
-"-	1977-78					X	X		
Jokioinen	1972-75		X	X	X				
Lounais-Suomen koeasema	1967-71							X	
-"-	-"-		X	X	X				
-"-	-"-	X							
-"-	1975-77								
-"-	1975 ja 77					X			
Satakunnan	-"-							X	
-"-	-"-	X							
1974-77									
Kymenlaakson	-"-		X	X	X				
-"-	-"-	X							
1969-71									
1975-77									
Pohjois-Pohjanmaan ¹⁾	1969-73							X	
Kiinteät koekentät	1966-75			X	X				X
Koe Tähtinen	1969-72							X	
4H-Kemira	1977-78								X
Kotkaniemi (Kemira)	1969-78		X	X	X				

Ohralle löytyy kaksi kymmenen vuoden koesarjaa. Koevuodet, havaintovälit ja havaintopisteiden lukumäärät ovat samat kuin vastaavien kevätvehnäkoekoiden. Ohralle löytyy myös kevätvehnän lyhyempiä koesarjoja vastaava koemateriaali. Lisäksi typpilannoituksen vaikutusta ohralle tarkastellaan kiinteiden koekenttien vuosien 1966-75 kokeilla. Niissä on tosin vain kolme havaintopistettä: 0,52 ja 104 kg N/ha, eivätkä havainnot jakaannu tasan kaikille vuosille.

Kaurakokeet poikkeavat vehnäkokeista siten, että Tikkurilasta puuttuu kauran kymmenen vuoden koesarja ja toisaalta vehnäkoeksiin nähden kaurasta on lisäksi käytettävissä kiinteiden koekenttien vuosien 1966-75 tuloksia. Niissä on kolme havaintopistettä: 0,52 ja 104 kg N/ha. Myöskään kaurakokeiden, samoin kuin edellä ohrakokeiden kiinteillä koekentillä tehdyt kokeet eivät olleet jakautuneet tasaisesti koko ajanjaksolle.

¹⁾ Alatornio, Eura, Hartola, Himanka, Ilomantsi, Järvenpää, Kankaanpää, Karunki, Kuusamo, Kälviä, Lohtaja, Loimaa, Luvia, Muhos, Nakkila, Nurmes, Pihtipudas, Pori, Rauma mlk., Sodankylä, Tammela, Tyrnävä, Utajärvi ja Vaala.

Kevätrypsin ja -rapsin vuosien 1977-78 Tikkurilan kokeet on suoritettu neljällä lannoitustasolla: 0,60, 120 ja 180 kg N/ha. Rypsiä on tässä tutkimuksessa lisäksi mukana Lounais-Suomen koeseman koetulokset vuosilta 1975 ja 1977. Näissä kokeissa on neljä havaintopistettä: 0,100, 150 ja 200 kg N/ha.

Säilörehusta on käytettävissä neljä koesarjaa. Lounais-Suomen koetuloksissa vuosilta 1967-71 ja Satakunnan koetuloksissa vuosilta 1966-71 typen arvot ovat 0,150, 300, 450 ja 600 kg N/ha. Pohjois-Pohjanmaan koeseman kokeet vuosilta 1969-73 on suoritettu neljällä havaintopisteellä: 0,150, 225 ja 300 kg N/ha. Neljäntenä koesarjana käytetään vuosilta 1969-72 peräisin olevaa kahdellatoista paikkakunnalla tehtyä säilörehunurmen typpilannoituskoetta (TÄHTINE: 1979). Siinä on kolme havaintopistettä ja ne ovat :100, 200 ja 400 kg N/ha.

Typen vaikutus heinäsatoon pyritään tässä tarkastelussa selvittämään kahden koesarjan avulla. Toinen on 4H-kerhojen yhdessä Kemiran kanssa 1977-78 toteuttama lannoituskoe, jossa käytetään neljää typpitasoa 0,45, 90 ja 135 kg N/ha. Toinen puolestaan on kiinteiden koekenttien kolmen typpitason koesarja vuosilta 1966-75. Siinä on typen määrä 0,52 ja 104 kg N/ha. Myös tässä koesarjassa kiinteiden koekenttien koetulokset jakaantuvat epätasaisesti eri vuosille.

5.2. Tuotantofunktion funktiomuodon valinta

Tässä tutkimuksessa on ainoana selittävänä muuttujana lannoitetyypen määrä. Selittävien muuttujien lukumäärä ei periaatteessa rajoita tuotantofunktion valintaa, vaikkakin yhden selittävän muuttujan malli on rakennallisesti yksinkertaisin. Lisäksi ei ole selittävien muuttujien mahdollisesta yhteisvaikutuksesta johtuvia ongelmia.

Kuten edellä esitettiin kasvituotannossa voi valita hyvin monesta erilaisesta funktiomuodosta. Funktion sopivuutta voidaan tarkastella graafisesti tai haluttaessa suurempaa tarkkuutta käyttäen regressioanalyysiä (WEINSCHENCK 1953, s. 92). IHAMUOTILA (1970) on tutkinut lisääntyvän typpilannoituksen vaikutusta maissituotannon taloudelliseen tulokseen New Yorkin osavaltiossa ja samassa tutkimuksessa hän tarkasteli kuuden eri matemaattisen funktion avulla estimoitujen tulosten ja koetulosten yhteensopivuutta.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin yksinkertaiseen funktioon. Aluksi katsottiin kuinka hyvin lineaarinen funktio soveltuisi kuvaamaan typpilannoitusvaikutusta. Kun sen kuvaaja ei käynyt riittävästi yksiin koetulosten kanssa, kokeiltiin eräitä logaritmimuunnosvariaatioita. Myös ne osoittautuivat koetuloksista poikkeaviksi. Seuraavaksi määrättiin koeaineiston nojalla lannoitustutkimuksissa usein käytetty parabeliyhtälö (esim. HEADY ja DILLON 1966, s. 78, RYYNÄNEN 1970, s. 25 ja COOKE 1971, s.118).

Käsillä olevan tutkimuksen funktiotyypiksi valittiin

$$Y = a + bN + cN^2, \text{ missä } N = \text{typpimäärä}$$

Ratkaisuun vaikutti se, että koeaineistosta estimoitujen funktioiden kuvaajat näyttivät kulkevan varsin hyvin havaintopisteiden kautta. Jatkossa myös lähempi tarkastelu selityksasteen (R^2) avulla puolsi parabelin käyttöä (taulukko 6). Tähän antoi tukea myös se, että IHAMUOTILA (1970) sai maissin typpilannoituskokeita tutkiessaan parabeliyhtälölle parhaan selityksasteen.

5.3. Tuotantofunktioiden estimointi

Koetuloksissa on vain kolmesta viiteen käytetyn typpimäärän ja saadun satotason havaintoparia. Jotta typpilannoitusvaikutuksesta olisi saanut vakuuttavamman kuvan, olisi samassa kokeessa täyty-
nyt olla useampia havaintopareja ja eräissä kokeissa ne olisivat voineet jakautua laajemmalle lannoitusmäärien alueelle. Esimer-

kiksi kiinteiden koekenttien tuloksista, joissa on kolme havaintopistettä, ei voi saada luotettavaa tietoa typen vaikutuksesta satotasoon ja typen käytön optimista.

Vaikka koetulokset eivät parhaiten soveltuneet tilastolliseen analyysiin lukumäärältään vähäisten havaintopisteiden takia, suoritettiin kuitenkin regressioanalyysi. Analyysissä käytettiin koetulosten eri vuosien keskiarvoja.

Saatujen estimaattien hyvyyttä testattiin mallin selitysasteella (R^2) ja regressiokertoimien hyvyyttä Studentin t-testin avulla. Tulokset antoivat kauttaaltaan varsin korkean selitysasteen. Lähes kaikki regressiokertoimien estimaatit olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Kiinteiden koekenttien kolmen havaintopisteen aineistosta saatiin luonnollisesti mallin selitysteksi yksi eli regressiokäyrä kulki täsmälleen annettujen pisteiden kautta ja t-testiä ei ollut havaintopisteiden vähyyden takia aihetta suorittaa lainkaan.

Taulukossa 6 esitetään regressioanalyysissä saatujen regressiokertoimien arvot, niihin liittyvät t-testiarvot¹⁾ ja mallin selitysaste.

Kuviossa 3 esitetään estimoitujen tuotantofunktioiden kuvaajat. Kuvioihin on lisäksi merkitty kohdassa 5.4. määritettävät ja taulukoissa 7 ja 8 esitettävät optimaalisia typpilannoitusmääriä vastaavat satotasot siten, että $Y(\text{opt}_1) = \uparrow$, $Y(\text{opt}_2) = \Gamma$ ja $Y(\text{opt}_3) = \downarrow$.

1)

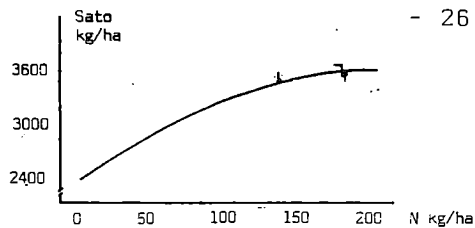
x	tilastollisesti merkitsevä	merkitsevyydellä	0.05
xx	- " -	- " -	0.01
xxx	- " -	- " -	0.001

Taulukko 6. Mallin regressiokertoimet (a, b, c), niihin liittyvät t-testiarvot (suluisissa) ja selitysaste (R^2).

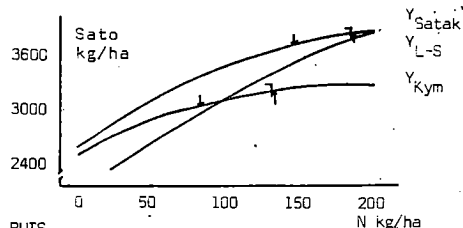
		a	b	c	R^2
RUIS					
Satakunnan koeasema	1974-77	2 603	11.21 ^{xxx} (84.3)	-0.0243 ^{xxx} (-28.6)	0.9999
Lounais-Suomen "	1975-77	2 086	12.34 ^{xxx} (14.8)	-0.0171 ^x (-4.3)	0.9986
Kymenlaakson "	"	2 590	7.47 ^{xxx} (10.2)	-0.0201 ^{xx} (-5.7)	0.9936
Ylläolevat yhdessä	"	2 438	11.02 ^{xx} (12.7)	-0.0255 ^x (-6.1)	0.9967
KEVÄTVEHNÄ					
Kotkaniemi	1969-78	1 903	26.18 ^{xxx} (31.8)	-0.0678 ^{xxx} (-15.4)	0.9995
Tikkurila (MTTK)	"	1 654	28.91 ^{xxx} (14.7)	-0.0810 ^{xxx} (-8.6)	0.9966
" "	1969-71	1 713	31.67 ^{xxx} (17.1)	-0.0745 ^{xx} (-6.3)	0.9993
Jokioinen "	1972-75	1 957	13.33 ^{xx} (6.7)	-0.0477 ^{xx} (-5.0)	0.9720
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	1 957	11.15 ^x (4.6)	-0.0265 (-1.7)	0.9911
Kymenlaakson "	"	1 116	9.77 ^x (2.7)	-0.0280 (-1.2)	0.9681
OHRA					
Kotkaniemi	1969-78	1 908	39.02 ^{xxx} (13.1)	-0.1331 ^{xx} (-8.4)	0.9949
Tikkurila (MTTK)	"	1 358	41.89 ^{xxx} (11.0)	-0.1185 ^{xx} (-6.5)	0.9939
" "	1969-71	1 610	48.40 ^{xxx} (35.5)	-0.1295 ^{xx} (-14.8)	0.9998
Jokioinen "	1972-75	2 259	27.99 ^{xx} (6.6)	-0.0966 ^{xx} (-4.8)	0.9740
Kiinteät koekentät	1966-75	2 136	12.17	-0.0288	1.0000
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	2 899	21.48 ^{xx} (8.2)	-0.0655 ^x (-3.9)	0.9961
Kymenlaakson "	"	1 712	25.13 ^{xxx} (119.7)	-0.0790 ^{xxx} (-58.7)	0.9999

Taulukko 6 jatk.

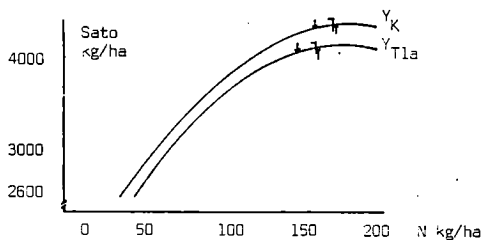
		a	b	c	R ²
KAURA					
Kotkaniemi	1969-78	2 517	33.96 ^{xxx} (27.6)	-0.1126 ^{xxx} (-17.2)	0.9989
Tikkurila (MTTK)	1969-71	2 480	41.06 ^{xxx} (30.1)	-0.1595 ^{xxx} (-18.3)	0.9996
Jokioinen "	1972-75	3 138	16.97 ^{xx} (5.2)	-0.0634 ^x (-4.0)	0.9495
Kiinteät koekentät	1966-75	2 058	16.13	-0.0786	1.0000
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	2 992	24.44 ^{xx} (8.0)	-0.0775 ^x (-4.0)	0.9957
Kymenlaakson "	"	2 278	18.81 ^x (2.8)	-0.0550 (-1.3)	0.9696
KEVÄTRYPSI					
Tikkurila (MTTK)	1977-78	637	15.46 ^{xxx} (19.1)	-0.0502 ^{xx} (-11.6)	0.9989
Lounais-Suomen koeasema 1975 ja 77		1 247	9.82 ^{xx} (6.7)	-0.0324 ^x (-4.5)	0.9886
KEVÄTRAPSI					
Tikkurila (MTTK)	1977-78	760	17.37 ^{xx} (10.9)	-0.0471 ^x (-5.5)	0.9976
HEINÄ					
4H-KEMIRA	1977-78	3 089	33.80 ^{xxx} (36.5)	-0.1189 ^{xxx} (-18.1)	0.9998
Kiinteät koekentät	1966-75	3 045	37.84	-0.1729	1.000
SÄILÖREHU					
Lounais-Suomen koeasema	1967-71	2 148	25.68 ^{xxx} (13.9)	-0.0290 ^{xxx} (-9.9)	0.9943
Satakunnan "	1966-71	1 497	21.25 ^{xxx} (16.6)	-0.0232 ^{xxx} (-11.4)	0.9963
Pohjois-Pohjanmaan "	1969-73	3 164	21.60 ^{xxx} (21.6)	-0.0341 ^{xxx} (-10.3)	0.9994
Koe Tähtinen	1969-72	3 472	26.18	-0.0422	1.0000



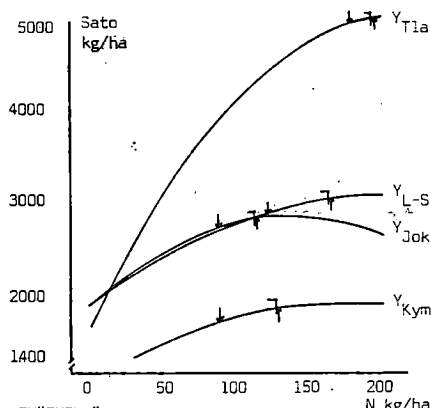
RUIS
Koeasemat 1974-77 $Y = 2438 + 11.02N - 0.0255N^2$



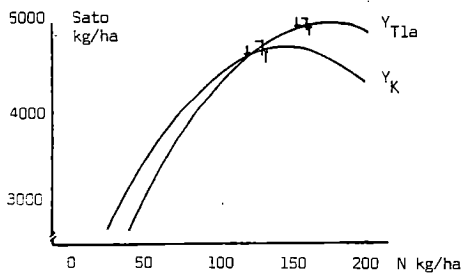
RUIS
Satakunta 1974-77 $Y = 2603 + 11.21N - 0.0243N^2$
Lounais-Suomi 1975-77 $Y = 2086 + 12.34N - 0.0171N^2$
Kymenlaakso -" $Y = 2590 + 7.47N - 0.0201N^2$



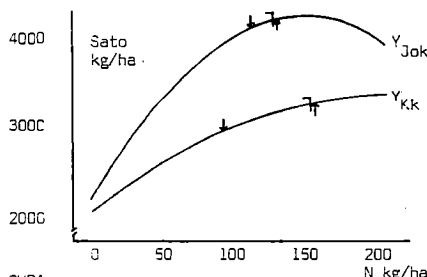
KEVÄTVEHNÄ
Tikkurila 1969-78 $Y = 1654 + 28.91N - 0.0810N^2$
Kotkaniemi " $Y = 1903 + 26.18N - 0.0678N^2$



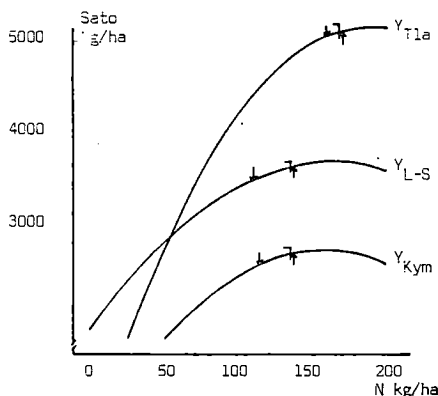
KEVÄTVEHNÄ
Tikkurila 1969-71 $Y = 1713 + 31.67N - 0.0745N^2$
Lounais-Suomi -" $Y = 1957 + 11.15N - 0.0265N^2$
Kymenlaakso -" $Y = 1116 + 9.77N - 0.0280N^2$
Jokioinen 1972-75 $Y = 1957 + 13.33N - 0.0477N^2$



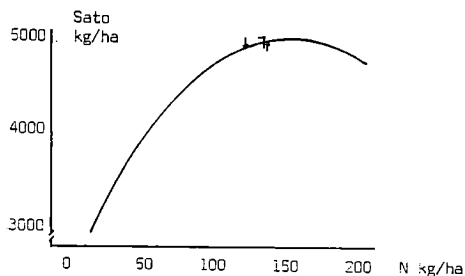
OHRA
Tikkurila 1969-78 $Y = 1358 + 41.89N - 0.1185N^2$
Kotkaniemi " $Y = 1908 + 39.02N - 0.1331N^2$



OHRA
Jokioinen 1972-75 $Y = 2259 + 27.99N - 0.0966N^2$
Kiinteät koekentät 1969-75 $Y = 2136 + 12.17N - 0.0288N^2$

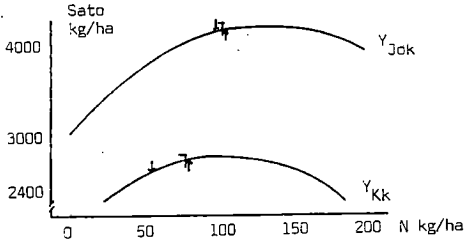


OHRA
Tikkurila 1969-71 $Y = 1610 + 48.40N - 0.1295N^2$
Lounais-Suomi -" $Y = 2899 + 21.48N - 0.0655N^2$
Kymenlaakso -" $Y = 1712 + 25.13N - 0.0790N^2$



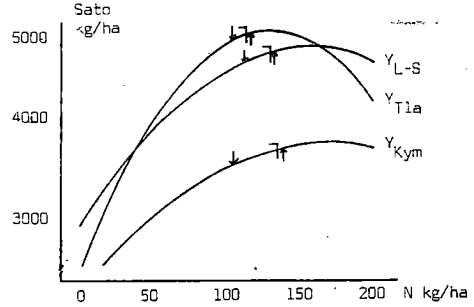
KAURA
Kotkaniemi 1969-78 $Y = 2517 + 33.96N - 0.1126N^2$

Kuvio 3. Sadon ja typpilannoituksen välinen riippuvuus.



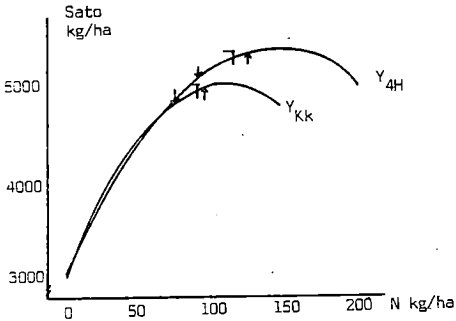
KAURA

Jokioinen 1972-75 $Y = 3138 + 16.97N - 0.0634N^2$
 Kiinteät koekentät 1966-75 $Y = 2058 + 16.13N - 0.0786N^2$



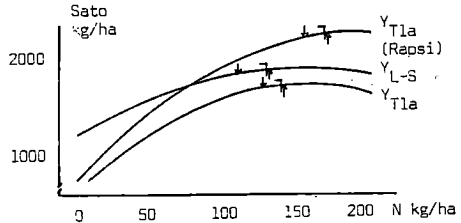
KAURA

Tikkurila 1969-71 $Y = 2480 + 41.06N - 0.1595N^2$
 Lounais-Suomi " $Y = 2992 + 24.44N - 0.0775N^2$
 Kymenlaakso " $Y = 2278 + 18.61N - 0.0550N^2$



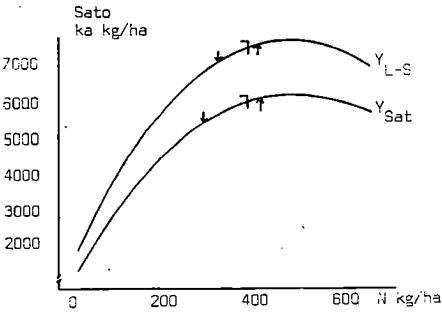
HEINÄ

4H/Kemira 1977-78 $Y = 3089 + 33.80N - 0.1189N^2$
 Kiinteät koekentät 1966-75 $Y = 3045 + 37.84N - 0.1729N^2$



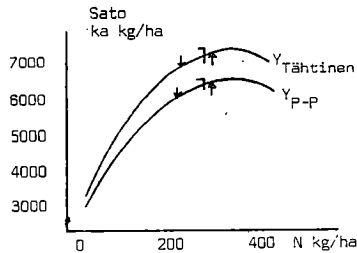
KEVÄTRYPSI

Tikkurila 1977-78 $Y = 637 + 15.46N - 0.0502N^2$
 Lounais-Suomi 1975 ja 77 $Y = 1247 + 9.82N - 0.0324N^2$



SÄILÖREHU

Lounais-Suomi 1967-71 $Y = 2148 + 25.68N - 0.0290N^2$
 Satakunta 1966-71 $Y = 1497 + 21.25N - 0.0232N^2$



SÄILÖREHU

Pohjois-Pohjanmaa 1969-73 $Y = 3164 + 21.60N - 0.0341N^2$
 Koe Tähtinen 1969-72 $Y = 3496 + 25.82N - 0.0410N^2$

Kuvio 3. jatk.

5.4. Optimaalinen typpilannoitus

Taloudellisen optimin määrittämiseksi on aluksi tarkasteltava typen ja tuotteiden hintoja, sillä ne vaikuttavat optimipisteen määräytymiseen yhdessä koetuloksista estimoitujen typpilannoituksen vaikutusta kuvaavien parabelinkaarien parametrien kanssa.

Väkilannoitetypen hintana käytetään laskelmissa Oulunsalpietarin (N 27.5 %) lannoiteverollisesta huhti-kesäkuun 1979 vähittäisohjehinnasta laskettua typen kilohintaa. Suurin osa käytettävästä tyypestä tosin annetaan seoslannoksissa, mutta niistä typen hinnan määrittäminen on vaikeaa. Typen hinnaksi tuli 259 p/kg. Tuotteiden hintoina käytetään MTTL:n ilmoittamia tuottajahintoja ja ne olivat syyskuussa 1979 seuraavat:

Ruis	127.45 p/kg
Vehnä	108.03 "
Ohra	77.30 "
Kaura	71.94 "
Kevätrypsi ja -rapsi	185.00 "

Optimit on määritetty lisäksi käyttäen kilohintoja, joista on vähennetty 3 p/kg. Hinnankorjauksella on pyritty osin huomioimaan viljelijälle aiheutuvia lisäkustannuksia, kun käytetään tyypeä optimaalisesti. Samalla nähdään tuottajahinnan pienen muutoksen vaikutus optimipisteeseen.

Heinän ja säilörehun hinnoittelu on ongelmallinen, koska niitä ei yleensä tuoteta sellaisenaan markkinoitaviksi. PSM:n keräämänä löytyy heinän tuottajahinta, joka syyskuussa 1979 oli 60.00 p/kg. Eräessä säilörehua käsittelevässä tutkimuksessa arvioidaan heinän ja säilörehun tuotantokustannukset rehuyksikköä kohti samoiksi (TURKKI, POKKI ja RYYNÄNEN 1979, s. 53). Näin olettaen ja käyttäen rehuanalyysien vuosien 1972-76 keskimääräisiä muuntolukuja, jotka olivat heinällä 2.1 kg/ry ja säilörehulla 6.4 kg/ry sekä säilörehun kuiva-ainepitoisuus 20 %, saadaan säilörehulle hinnaksi 98.75 p/kg ka.

Yllä oleva heinän hinta on määräytynyt marginaalierän perusteella ja siksi optimi on laskettu myös käyttäen alhaisempaa hintaa 40 p/kg. Edellyttäen edelleen heinän ja säilörehun rehuyksikköhinnat samoiksi saadaan säilörehun hinnaksi 64.05 p/kg ka.

Typen taloudellinen optimikäyttö määräytyy edellä esitettyistä kaavoista

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = \frac{P(N)}{P(Y)} \quad \text{ja} \quad Y = a + bN + cN^2$$

siten, että

$$N(\text{opt}) = \frac{1}{2c} \left(\frac{P(N)}{P(Y)} - b \right), \quad \text{missä } Y = \text{satotaso, } N = \text{typpimäärä,}$$

$P(N)$ = typen hinta ja $P(Y)$ = tuotteen hinta. Tutkimusaineistosta lasketut optimit esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Typen hinta ($P(N)$ mk/kg), tuotteen hinta ($P(Y)$ mk/kg (säilörehu mk/kg ka)) ja typenkäytön optimi ($N(\text{opt})$ kg/ha).

		$P(N)$	$P(Y_1)$	$N(\text{opt}_1)$	$P(Y_2)$	$N(\text{opt}_2)$
RUIS						
Satakunnan koeasema	1974-77	2.59	1.2745	188.9	1.2445	187.9
Lounais-Suomen "	1975-77	"	"	301.5	"	300.0
Kymenlaakson "	"	"	"	135.1	"	134.1
Ylläolevat yhdessä		"	"	176.3	"	175.3
KEVÄTVEHNÄ						
Kotkaniemi	1969-78	"	1.0803	175.4	1.0503	174.9
Tikkurila (MTTK)	"	"	"	163.6	"	163.2
" "	1969-71	"	"	196.4	"	196.0
Jokioinen	1972-75	"	"	114.6	"	113.8
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	"	"	165.1	"	163.8
Kymenlaakson "	"	"	"	131.6	"	130.4
OHRA						
Kotkaniemi	1969-78	"	0.7730	134.0	0.7430	133.5
Tikkurila (MTTK)	"	"	"	162.6	"	162.0
" "	1969-71	"	"	173.9	"	173.4
Jokioinen "	1972-75	"	"	127.5	"	126.8
Kiinteät koekentät	1966-75	"	"	153.1	"	150.7
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	"	"	138.4	"	137.3
Kymenlaakson "	"	"	"	137.8	"	137.0
KAURA						
Kotkaniemi	1969-78	"	0.7194	134.8	0.6894	134.1
Tikkurila (MTTK)	1969-71	"	"	117.4	"	116.9
Jokioinen "	1972-75	"	"	105.4	"	104.2
Kiinteät koekentät	1966-75	"	"	79.7	"	78.7
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	"	"	134.5	"	133.4
Kymenlaakson "	1969-71	"	"	138.3	"	136.8

Taulukko 7. jatk.

		P(N)	P(Y ₁)	N(opt ₁)	P(Y ₂)	N(opt ₂)
KEVÄTRYPSI						
Tikkurila (MTTK)	1977-78	2.59	1.8500	140.0	1.8200	139.8
Lounais-Suomen koeasema	1975 ja 77	"	"	129.9	"	129.6
KEVÄTRAPSI						
Tikkurila (MTTK)	1977-78	"	"	169.5	"	169.3
HEINÄ						
4H-KEMIRA	1977-78	"	0.6000	124.0	0.4000	114.9
Kiinteät koekentät	1966-75	"	"	96.9	"	90.7
SÄILÖREHU						
Lounais-Suomen koeasema	1967-71	"	0.9875	397.6	0.6405	373.1
Satakunnan "	1966-71	"	"	401.5	"	370.9
Pohjois-Pohjanmaan "	1969-73	"	"	278.3	"	257.5
Koe Tähtinen	1969-72	"	"	282.9	"	265.6

6. Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa on ainoana selittävänä muuttujana typen määrä. Seuraavassa esitetään eräitä näkökohtia, jotka vaikuttavat satoon ja joita tutkimuksessa on siis käsitelty vakioina.

6.1. Peltojemme ravinnetilanne

Jos tarkastellaan peltojemme nykyistä ravinnetilannetta ja verrataan sitä tavoitteina pidettyihin arvoihin, huomataan, etteivät olosuhteet muiden ravinteiden osalta ole pelloillamme optimissa. Taulukon 8 tulokset on laskettu Viljavuuspalvelussa tutkituista näytteistä, mutta ne vastaavat maan keskimääräisiä viljavuusarvoja (KURKI 1979, s. 1).

Taulukon 8 vuoden 1976-77 arvoista on pH-arvo tavoiterajojen sisällä ja samoin myös vaihtuva magnesium. Mitkään ravinteet eivät ylitä määrältään toivottuja arvoja. Sensijaan vaihtuva kalsium, vaihtuva kali, helppoliukoinen fosfori, happoliukoinen kupari, vesiliukoinen boori ja vaihtuva mangaani ovat tutkimuksessa esitettyjen tavoiterajojen alapuolella.

Taulukko 8. Peltomaidemme keskimääräiset pH-arvot ja eräiden ravinteiden määrät (mg/l) vuosina 1955-60, 1961-65, 1966-70, 1971-75 ja 1976-77 sekä tavoitearvot.

	1955-60	1961-65	1966-70	1971-75	1976-77	TAVOITE
pH	5.5	5.55	5.59	5.66	5.62	5.5-6.5
Ca	1400	1390	1433	1473	1525	2000-3000
K	120	123	140	141	149	200-300
P	5.4	5.0	7.7	10.7	10.8	15-25
Mg		188	177	189	213	150-300
Cu	7.3	7.2	6.4	6.7	7.2	8-15
B			0.36	0.39	0.48	0.8-1.2
Mn			8.2	9.1	10.2	4-6

6.2. Kasvien viljelyalueet ja tutkimusaineisto

Leipäviljojen ja öljykasvien koeaineisto on kokonaan Etelä-Suomesta (taul. 5), joten alueittaisia eroja ei aineistosta voida selvittää. Toisaalta myös pääosa niiden viljelyyn käytetyistä pelloista sijaitsee tilastojen perusteella samalla alueella (taul. 9). Myös rehuviljojen aineisto painottuu voimakkaasti maamme eteläisiin osiin. Ainoastaan kiinteiden koekenttien kokeet sijaitsevat pohjoisemmissa osissa maata (taul. 5). Ohran viljelyalasta keskimäärin hieman yli puolet sijaitsi vuosina 1969-78 Etelä-Suomessa ja kaura-alasta kolme viidesosaa (taul. 9).

Taulukko 9. Viljelyalojen keskimääräinen %-jakauma alueittain¹⁾ vuosina 1969-78.

	E-S	S-S	E-P	P-S
Ruis	70.0	14.7	11.5	3.8
Vehnä	92.2	4.0	3.6	0.2
Ohra	52.1	17.9	18.1	11.6
Kaura	60.1	16.5	18.0	5.4
Kevättrypsi ²⁾	94.3	0.4	5.3	
Kevättrypsi ²⁾	97.2		2.8	
Heinä	33.4	26.3	15.1	25.2
Säilörehu	32.2	33.7	11.9	22.2

¹⁾ Liite 2

²⁾ Vuosi 1978

Heinän ja säilörehun koetulokset ovat pääasiassa Sisä- ja Pohjois-Suomesta. Niiden viljelyala jakaantuu taulukon 9 mukaan viljoja paljon tasaisemmin koko maan alueella.

6.3. Viljelykasvien nykyinen satotaso ja tutkimuksenmukaiset optimisadot

Viljelykasviemme sadot vaihtelevat vuosittain eri tekijöistä johtuen melko paljon. Tämän takia on vaikea täsmällisesti määrittää mikä on niiden nykyinen satotaso. Satotason kehitystä voidaan kuvata mm. trendisuoralla. Se kertoo satotason keskimääräisen kehityksen tiettyinä ajanjaksona. Liitteessä 3 näkyvät kasveittain toteutuneet keskisadot vv. 1969-78 ja niitä vastaavat samasta aineistosta lasketut trendiarvot. Ajanjakso on sama, jona on suoritettu kevätvehnän, ohran ja kauran pitkät koesarjat (taul.5).

Taulukossa 10 esitetään keskiarvosadot vuosina 1969-78 ($Y(\text{tot})$) ja koetulosten nojalla estimoitujen tuotantofunktioiden optimipisteiden määrittämät satotasot ($Y(\text{opt}_1)$ ja $Y(\text{opt}_2)$). Samassa taulukossa esitetään myös kaksinkertaisella typen hinnalla ($P(N) = 5 \text{ mk/kg}$) lasketut typen optimikäytöt ($N(\text{opt}_3)$) ja niitä vastaavat optimisadot ($Y(\text{opt}_3)$), joita käsitellään kohdassa 6.6.

Koeolosuhteissa saadut satotasot ovat käytännön viljelyn kannalta korkeita, samoin myös taloudellisesti parhaat typenkäyttömäärät. Jos esimerkiksi katsellaan ohran typpimäärää 153 kg puhdasta typpeä hehtaaria kohti, se vastaa noin 950 kg normaali Y-lannosta. Heinän 114 kg puhdasta typpeä vastaa noin 710 kg normaali Y-lannosta ja säilörehun 278 kg noin 1 700 kg normaali Y-lannosta tai 1000 kg Oulunsalpietaria.

Taulukko 10. Maamme keskimääräiset satotasot vv. 1969-78 ja typenkäytön optimit koetulosten mukaan, (kg/ha).

		Y(tot)	Y(opt ₁)	Y(opt ₂)	N(opt ₃)	Y(opt ₃) ¹⁾
RUIS		2077				
Satakunnan koeasema	1974-77	3854	3851	147.9	3729	
Lounais-Suomen "	1975-77	4252	4249	243.3	4076	
Kymenlaakson "	"	3232	3230	85.8	3083	
Ylläolevat yhdessä	"	3588	3586	137.3	3470	
KEVÄTVEHNÄ		2439				
Kotkaniemi	1969-78	4409	4408	158.0	4347	
Tikkurila (MTTK)	"	4216	4215	149.1	4164	
" "	1969-71	5059	5058	180.6	5003	
Jokioinen "	1972-75	2858	2856	89.8	2769	
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	3076	3072	120.6	2916	
Kymenlaakson "	"	1917	1914	89.5	1766	
OHRA		2478				
Kotkaniemi	1969-78	4747	4745	121.3	4683	
Tikkurila (MTTK)	"	5036	5034	156.8	5013	
" "	1969-71	6111	6109	160.9	6045	
Jokioinen "	1972-75	4257	4255	110.0	4169	
Kiinteät koekentät	1966-75	3324	3316	94.4	3028	
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	4617	4613	112.6	4487	
Kymenlaakson "	"	3675	3672	116.5	3567	
KAURA		2452				
Kotkaniemi	1969-78	5049	5046	118.6	4961	
Tikkurila (MTTK)	1969-71	5102	5100	106.0	5040	
Jokioinen "	1972-75	4222	4218	100.3	4202	
Kiinteät koekentät	1966-75	2844	2840	56.5	2718	
Lounais-Suomen koeasema	1969-71	4877	4873	110.9	4749	
Kymenlaakson "	"	3827	3822	105.1	3647	
KEVÄTRYPSI		1572 ²⁾				
Tikkurila (MTTK)	1977-78	1878	1817	126.6	1790	
Lounais-Suomen koeasema	1975 ja 77	1976	1975	109.1	1933	
KEVÄTRAPSI		1572 ²⁾				
Tikkurila (MTTK)	1977-78	2351	2350	155.2	2321	
HEINÄ		3746				
4H-Kemira	1977-78	5452	5403	89.6	5163	
Kiinteät koekentät	1966-75	5088	5055	73.3	4890	
SÄILÖREHU ³⁾		3464				
Lounais-Suomen koeasema	1967-71	7774	7692	308.1	7307	
Satakunnan "	1966-71	6289	6187	289.7	5706	
Pohjois-Pohjanmaan "	1969-73	6534	6465	202.2	6137	
Koe Tähtinen	1969-72	7501	7449	217.7	7171	

1) typen hinta 5 mk/kg

2) kevätöljykasvit vv. 1975-78

3) kg ka/ha

6.4. Satotaso ilman lannoitusta

Koetuloksista estimoituja nollalannoitussatoja vastaavat taulukon 6 regressiokertoimien a arvot. Ne saattavat olla liian suuria koska maassa on yleensä jäljellä edellisten vuosien lannoitusten vaikutusta. Jonkinlaista taustaa antanevat virallisesta tilastosta poimitut vuosien 1920 ja 1929 keskisadot, koska tuohon aikaan väkilannoitteiden käyttö oli vähäistä. Toisaalta on otettava huomioon esimerkiksi uusien lajikkeiden vaikutus. Taulukossa 11 esitetään vuosien 1920 ja 1929 arvojen rinnalla taulukosta 6 regressiokertoimien a pienin ja suurin arvo.

Taulukko 11. Keskimääräiset sadot (kg/ha) vuosina 1920 ja 1929 sekä nollalannoitustasoa vastaavien regressiokertoimien (a) suurimmat ja pienimmät arvot.

	1920	1929	min a	max a
Ruis	1080	1301	2086	2603
Kevätvehnä	950	1314	1116	1957
Ohra	1000	1222	1610	2899
Kaura	1000	1186	2058	3138
Heinä	1860	2529	3045	3089

6.5. Koetulokset, nykyinen lannoitustaso ja lannoitussuositus

Verrattaessa taulukossa 7 esitettyjä koetuloksista laskettuja typen optimikäyttömääriä taulukossa 3 oleviin arvioihin käytävistä typpimääristä, ovat erot selviä. Koetulokset näyttävät antavan viitteitä typenkäytön lisäämisen puolesta. Ajatusta tukevat myös taulukon 10 korotetulla typen hinnalla lasketut optimit, mikäli lannoituskokeet vastaavat peltojemme todellisia olosuhteita.

Seuraavaksi tarkastellaan lyhyesti erästä väkilannoitussuosituksista ja siinä suositeltuja typen määriä eri kasveille. Neuvontajärjestöt (vrt. esim. SALLASMAA 1980) ovat esittäneet seuraavia lannoitussuosituksia käytettäessä voimaperäistä viljelyä:

Syysviljat	78-136 kg N/ha
Kevätviljat	56-100 "
Kevätöljykasvit	60-120 "
Heinä- ja säilörehunurmi	165-296 "

Vaihteluväli johtuu siitä, että eri maalajeille on omia suosituksia. Ylläolevat suositukset jäävät myös alle koetuloksista saatujen typen optimikäyttömäärien (taulukot 7 ja 10).

6.6. Typen hinnan voimakas nousu

Energian hinnan noustessa yksi kiintoisa kysymys on typen hinnan huomattavan korotuksen vaikutus optimilannoitukseen ja edelleen saataviin satoihin, mikäli nousua ei korvata viljan hinnassa. Taulukossa 10 esitetään koetulosten määräämistä yhtälöistä lasketut optimipisteet $N(\text{opt}_3)$ käyttäen typellä hintaa 5 mk/kg ja niitä vastaavat optimiarvot $Y(\text{opt}_3)$.

Verrattaessa $N(\text{opt}_3)$ arvoja taulukon 7 vastaaviin arvoihin $N(\text{opt}_1)$ ja $N(\text{opt}_2)$ ovat $N(\text{opt}_3)$ -arvot pienentyneet varsin selvästi. Mutta verrattaessa optimilannoituksella saatavia satoja $Y(\text{opt}_1)$ ja $Y(\text{opt}_2)$ satoihin $Y(\text{opt}_3)$ (taulukko 10) nähdään mielenkiintoinen ilmiö, satotasot eivät pienene kovin paljon.

Kun lannoitetypen taloudellinen optimikäyttö laskee $N(\text{opt}_1)$ - $N(\text{opt}_3)$ rukiilla 27.3 %, vähenee saatava sato 3.2 %. Rukiin muutosprosentit on laskettu ruiskokeiden yhteenlasketuista arvoista. Vastavasti kasveittain taulukoissa 7 ja 10 laskien, käyttäen kunkin kasvin ensimmäistä koetulosriviä, kevätevehnällä optimilannoituksen pienentyessä 9.9 % laskee saatava sato 1.4 %. Ohralla vastaavat luvut ovat 9.5 % ja 1.4 %, kauralla 9.5 % ja 1.3 %, rypsillä 9.6 % ja 4.7 %, rapsilla 7.2 % ja 1.3 %, heinällä 27.7 % ja 5.3 % sekä säilörehulla 22.5 % ja 8.1 %.

Kun tarkastellaan kuviota 3, havaitaan, että optimipisteet ovat melko lähellä pisteitä, joissa käyrien mukaan saadaan maksimisadot. Näiden pisteiden lähellä käyrät ovat taipuneet lähes vaakasuoriksi eli typpilannoituksen lisäämisellä saadaan pieniä sadon-

lisäyksiä verrattuna kuvion vasemmassa laidassa vastaavalla typpilannoituksen lisäämisellä saataviin satotason kohoamisiin nähden. Funktiossa $Y = a + bN + cN^2$ negatiivinen termi cN^2 , joka vähentää funktion kasvua, saa pienillä typen (N) määrillä vähäisemmän painon, kuin suurilla typen määrillä. Sen tähden funktion kulku on aluksi lähes lineaarista muuttuen selvästi kaarevaksi suuremmilla typpimäärillä lähestyessään optimi- ja maksimipistettä.

Ilmiö on maataloustuotannossa hyvin yleinen, ns. vähenevän lisä-tuoton laki, jossa lisättäessä tuotantopanosta, tässä typpilannoitusta, jatkuvasti samansuuruisin erin, saadaan sillä aikaan yhä pienenevä tuotoksen kasvu.

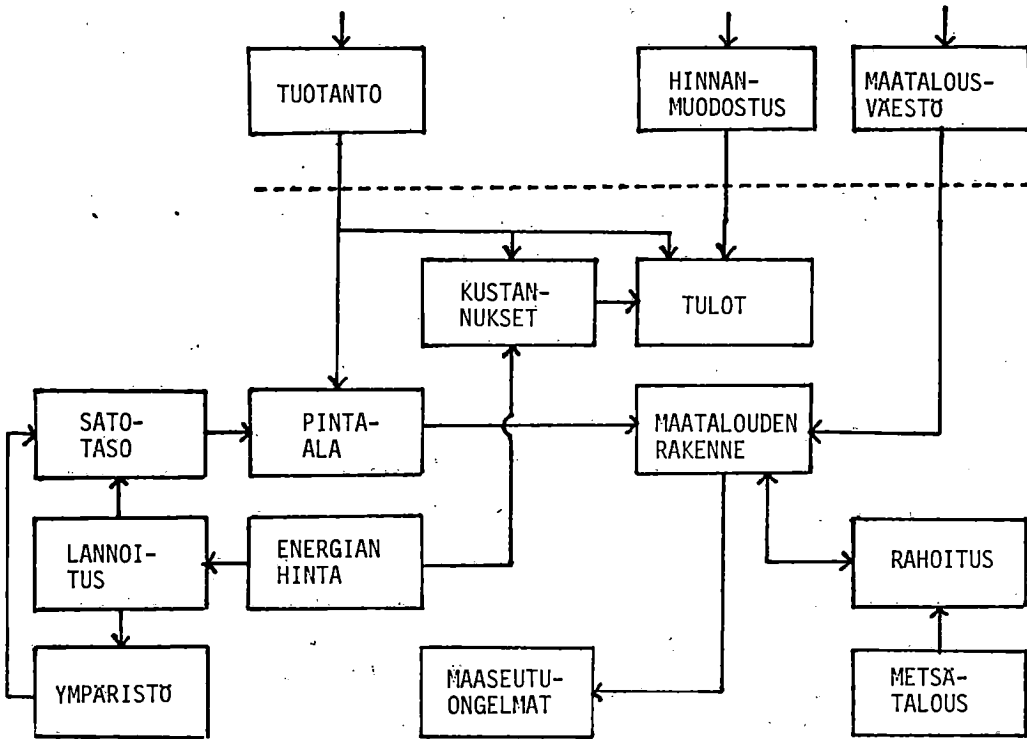
7. Suomen ravintotuotantomalli

Suomen ravintotuotantomallin tarkoitus on (KETTUNEN 1980):

- a) selvittää mitkä ovat maamme maatalouden ongelmat pitkällä aikavälillä
- b) rakentaa matemaattinen malli, jonka avulla voidaan kuvata maatalouden kehitystä ja joka sisältää erilaisia kehitykseen vaikuttavia politiikkamuuttujia ja
- c) tutkia millaisia politiikkatoimenpiteitä tarvitaan omavaraisuuden säilyttämiseksi pitkällä aikavälillä.

Tavoitteena on siis rakentaa malli, joka sopeutuu joustavasti erilaisiin tilanteisiin ja jolla simuloimalla voidaan saada selville eri toimenpiteiden vaikutus maatalouden kehitykseen pitkällä aikavälillä.

Ravintotuotantomalli koostuu osista, joista mainittakoon maatalous osana koko kansantalouttamme, kulutus, tuotanto, satotaso, pinta-ala, vientituki, hinnanmuodostus, maatalouden rakenne ja rahoitus sekä omavaraisuus.



Kuvio 4. Kaaviokuva Suomen ravintotuotantomallin maatalousosasta

7.1. Ravintotuotantomallin hehtaarisadot

Kasvinviljelytuotanto on koko maataloustuotannon perusta. Siksi satotason kehitys on varsin tärkeä tekijä ravintotuotantomallissa, sillä esim. tuotantoon tarvittavan pellon määrä riippuu satotasosta.

Mallissa käytetään koko maan normaalivuoden keskimääräistä satoa, jolloin jätetään huomioimatta useita satoon vaikuttavia tekijöitä, mm. säätilan aiheuttamat vuotuiset sadonmuutokset. Ko. mallissa on selittävinä muuttujina typpilannoitteiden käyttö ja ns. biologis-tekniinen kehitys. Biologis-tekniiseen kehitykseen

sisällytetään useita tekijöitä, joista mainittakoon esimerkiksi viljelytekniikan kehittyminen, kasvinjalostus, sadetuksen lisääntyminen ja salaojitus. Viimeksimainittu lisää käytännössä todellista viljeltyä peltoalaa, vaikkei se näy tilastoissa.

Lannoituksen, tässä tapauksessa typen, vaikutus kuvataan yleisesti käytetyllä parabeliyhtälöllä:

$$(1) \quad Y = a' + b'N + c'N^2.$$

Biologis-tekniinen kehitys liitetään siihen aikamuuttujan t avulla tasaisesti hidastuvana tekijänä, jolloin satotasofunktio on

$$(2) \quad Y = a_0 + a_1(t-1) + b_1 \ln(e + b_2(t-1))N + cN^2,$$

missä e = luonnollisen logaritmijärjestelmän kantaluku, a_0 = nol-lalannoitussato mallin perusvuonna ja a_1 = vuotuinen lineaarinen satotason muutos.

Satotasofunktiosta (2) saadaan asettamalla $t=1$ parabolinen perusmalli (1), josta lähdetään liikkeelle mallin perusvuonna 1978. Asettamalla parametrit $b_1=c=0$, saadaan mallista (2) lineaarinen funktio $Y = a_0 + a_1(t-1)$, joka sisältää ainoastaan biologis-tekni- sen kehityksen. Sitä käytetään mallissa niiden tuoteryhmien osal- la, joissa typpilannoituksen ei katsota olevan olennainen selittä- vä muuttuja, tai joista ei ole käytettävissä sopivaa koeaineistoa.

Suomen ravintotuotantomallissa käytetään funktiota (2) kuvaamaan leipäviljan ja rehujen satotason kehitystä. Leipävilja käsittää rukiin ja vehnän ja rehut ohran, kauran, heinän ja säilörehun.

7.2. Tutkimustulokset ja ravintomalli

Koetuloksien satotasot ovat suurempia kuin maassamme nykyisin saa- vutettavat satotasot keskimäärin. Ravintomallissa on kuitenkin lähdettävä nykyisestä satotasosta ja tarkasteltava sen kehitystä ajan myötä. Toisin sanoen tehtävänä on yhdistää koetuloksia anta- ma informaatio ja nykyinen tilanne.

Synteesi suoritetaan olettamalla, että nykyinen satotaso saavutetaan taloudellisesti optimaalisella typpilannoituksella, eli että nykyinen lannoitusintensiteetti antaa parhaan taloudellisen tuloksen. Todellinen tilanne ei liene aivan tällainen, mutta virhe ei ehkä ole ratkaisevan suuri.

Optimilannoitus määritetään optimiehdon mukaisesti siten, että yhtälön (2) ensimmäinen derivaatta typen suhteen asetetaan tuotantontekijästä, tässä tapauksessa typpikilosta maksettavan hinnan $P(N)$ ja tuotteesta saatavan hinnan $P(Y)$ suhteen suuruiseksi. Eräässä ravintomallin skenaarioajossa käytetään seuraavia lähtöarvoja:

	Leipävilja	Rehut
Y_0	2 788 kg/ha	2 433 ry/ha
$N(\text{opt}_0)$	105 -"-	90 kg/ha
a_0	1 701.5 -"-	1 135.4 ry/ha
a_1	5 -"-	5 -"-
b_1	18.16	25.74
b_2	0.0207	0.0133
c	-0.0744	-0.1258
$P(N_0)$	203.09 p/kg	203.09 p/kg
$P(Y_0)$	96.00 -"-	78.59 -"-
K_0	2	2
V	40.00 p/kg	40.00 p/kg
U	0.0987	0.0987

missä Y_0 = perusvuoden satotaso, $N(\text{opt}_0)$ = perusvuoden lannoitus-
taso, $P(N_0)$ = perusvuoden typen hinta, $P(Y_0)$ = perusvuoden tuotteen
hinta, K_0 = lannoitteiden hinnan muutos (%), V = lannoitevero ja U =
lannoitekustannusten osuus kokonaiskustannuksista.

Ajossa t saa arvot yhdestä kymmeneen, jolloin yksi vastaa vuotta
1978 ja kymmenen vuotta 1987.

Yllä olevista parametreista vuoden 1978 satotasona (Y_0) käyte-
tään erästä ennustetta (MELA ja HAAPALAINEN 1976, s. 53). Samaan
tutkimukseen (ss. 1-12) perustuvat myös väkilannoitetypen nykyiset

käyttömäärät $N(\text{opt}_0)$. Parametri a_1 on harkinnanvaraisesti määritetty luku ja c :nä käytetään yllä Tikkurilan ja Kotkaniemen koetulosten keskiarvoja siten, että leipäviljalla käytetään kevätvehnän ja rehuilla ohran kymmenen vuoden koetuloksista estimoituja keskiarvoja.

Lannoitteiden hinnan muutos (K_0) määritetään mallin alussa, jonka jälkeen ajan myötä muuttuva hinta saadaan kaavasta

$$P(N_t) = (1+K_0)^t P(N_0) + V,$$

missä V on lannoitevero.

Mallissa lannoitteen hinnan nousu kompensoidaan viljelijälle ja tuotteen hinta saadaan kaavasta

$$P(Y_t) = (U(1+K_0)^t + (1-U))P(Y_0),$$

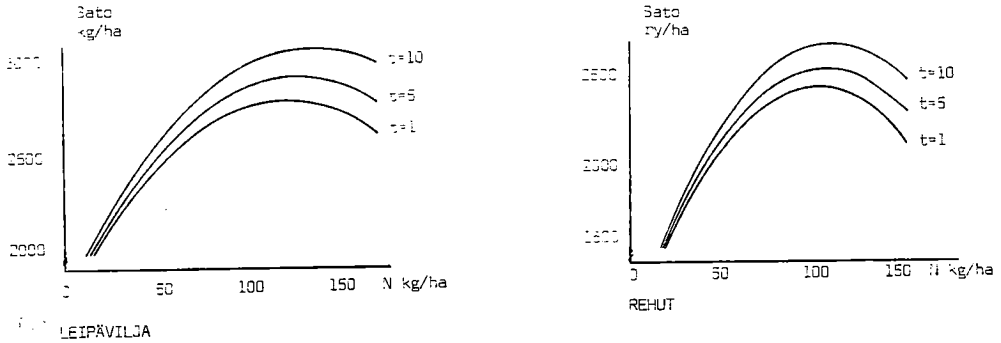
missä U on lannoitekustannusten osuus kokonaiskustannuksista.

Lannoitetypen kilohinta ($P(N)$) lasketaan Oulunsalpietarin (27.5 % N) tammikuun 1978 vähittäisohjehinnasta ja tuotteen hintana ($P(Y)$) käytetään leipäviljalla vehnän ja rehuilla ohran valtioneuvoston vahvistamaa tammikuun 1979 tukkuostohintaa.

Leipäviljan satotasona käytetään kevätvehnän satoennustetta. Rehulla se puolestaan saadaan ohran, kauran, heinän ja säilörehun satoennusteista siten, että kiloina ilmoitetut hehtaarisadot muutetaan ensin ry-arvoiksi Viljavuuspalvelu Oy:n suorittamien rehuanalyysitulosten vuosien 1972-76 keskimääräisillä korvausluvuilla 1.0, 1.2, 2.1 ja 6.4 ry/kg (Maatalouskalenteri 1980, s. 171) ja sitten eri rehujen hehtaarisadot lasketaan painottaen vuonna 1978 toteutuneesta kokonaissadosta lasketuilla rehujen prosenttiosuuksilla, jotka ovat ohralla 41.6 %, kauralla 23.9 %, heinällä 21.5 % ja säilörehulla 13.0 %.

Kuviossa 5 esitetään tässä skenaarioajossa lasketut tuotantofunktiot kolmena eri vuonna. Liitetaulukossa 4 esitetään funktion kaikkien vuosien ($t=1, \dots, 10$) arvot eri pisteissä sekä lisäksi

typen optimimäärä ja vastaava yhtälön arvo eli satotaso. Tässä skenaarioajossa on optimilannoituksella saatavan satotason kasvu 10 % kymmenessä vuodessa.



Kuvio 5. Satotason kehitys. $Y = a_0 + a_1(t-1) + b_1 \ln(e + b_2(t-1))N + cN^2$

Edellä kuvattu tulos on yksi mallin tietyillä alkuarvoilla ja olettamuksilla antama kuva tulevasta kehityksestä. Mallissa voidaan käyttää erilaisia alkuarvoja ja siten saada toisenlainen tapahtumien kulku. Jos seuraavaksi tarkastellaan väkilannoitteiden hintojen mahdollista voimakasta reaalista nousua tuotteista saataviin hintoihin nähden saadaan taulukon 12 mukaiset arvot typen optimikäytössä.

Taulukko 12. Typen hinnan vaikutus typenkäytön optimiin ja vastaavat satotasot vuosina 1978 (t=1) ja 1987 (t=10).

P(N)	V	P(Y)	t=1		t=10	
			N(opt)	Y(opt)	N(opt)	Y(opt)
Leipävilja						
203.09	40	96.00	105.03	2788	115.19	3067
250	40	"	101.74	2779	114.31	3064
300	40	"	98.24	2768	110.81	3053
500	40	"	84.24	2703	96.81	2988
Rehut						
203.09	40	78.59	90.01	2433	95.71	2670
250	40	"	87.64	2425	95.07	2669
300	40	"	85.11	2412	92.54	2658
500	40	"	75.00	2358	82.43	2602

Satotasoa kuvaava funktio säilyy siis ennallaan ja vain typen hinta nousee taulukon 12. tarkastelussa. Typen hinnanousu aiheuttaa optimilannoitustason putoamisen ja samalla satotaso laskee. Jos typen hinta olisi 5 mk/kg ja leipäviljan hinta olisi ennallaan eli 96 p/kg, lannoitteiden hinta nousisi 146.2 % ja optimilannoitustaso laskisi 19.8 %, mutta satotaso laskisi 3.0 % (arvolla $t=1$). Siten satotaso ei mallin mukaan romahtaisi, vaikka typen hinta nousisi voimakkaasti ja sen käyttöä pitäisi supistaa.

8. Yhteenveto ja päätelmät

Tämän tutkimuksen tehtävänä on ollut tarkastella eri kasvien satotasojen riippuvuutta käytettävästä typpilannoitemäärästä ja määrittää optimaalinen typpilannoitustaso. Toisena tehtävänä on ollut edellä mainittujen tulosten pohjalta rakentaa satotasoa ja sen kehitystä kuvaava malli valmisteilla olevaa ravintotuotantomallia varten.

Typpilannoitus-satotaso riippuvuussuhteen selvittelyyn on otettu mukaan ruis, kevätvehnä, ohra, kaura, kevättrypsi, kevätrapsi, heinä ja säilörehu. Typpilannoituksen ja satotason välistä riippuvuutta kuvaavana funktiona on käytetty parabeliyhtälöä $Y = a + bN + cN^2$. Tämä yhtälö näyttää selitysasteen perusteella kuvaavan ilmiötä varsin hyvin.

Koeolosuhteissa saatavat optimaaliset typpilannoitemäärät ovat käytännön viljelyn kannalta korkeita. Myös niitä vastaavat satotasot ovat käytännön tasoa korkeampia. Tästä syystä tämän tutkimuksen tuloksia ei voi sellaisinaan käyttää lannoituksen ohjeena tai tavoitteena. Tutkimuksen eräänä tarkoituksena on ollutkin lannoite-sato suhteen selvittelyssä tarvittavien menetelmien kehittämisen. Samoin on yritetty selvittää suoritettujen lannoitustutkimusten soveltuvuutta tämän tyyppisiin tilastomatematiikkaan selvityksiin.

Tutkimustehtävän toisessa osassa on päädytty satotasomalliin

$$Y = a_0 + a_1(t-1) + b_1 \ln(e + b_2(t-1))N + cN^2$$

missä ns. biologis-tekninen kehitys on otettu typen ohella toiseksi selittäväksi muuttujaksi aikamuuttujan (t) avulla. Biologis-tekninen kehitys on hyvin monitahoinen satoon vaikuttava tekijä. Tässä sen kuvaukseen ei ollut mahdollista puuttua enempää. Sovellettua funktiomuotoa käytetään mainitussa ravintomallissa leipäviljalle, joka käsittää rukiin ja vehnät sekä rehuille, joka käsittää ohran, kauran, heinän ja säilörehun. Tästä funktiosta saadaan, asettamalla parametrit $b_1=c=0$, vain biologis-teknisen kehityksen sisältävä lineaarinen yhtälö, jolla kuvataan mallissa muiden kasvien satotasojen kehitystä.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että järjestetyt lannoituskokeet nykyisessä muodossaan kuvaavat lannoite-sato suhdetta lähinnä vain koeolosuhteissa. Jotta lannoituskokeista saataisiin enemmän käytäntöä palvelevia tietoja, se edellyttää kokeiden nykyistä laajempaa järjestämistä todellisissa tuotanto-olosuhteissa. Maan muokkaus, viljelykasvien kylvö, lannoitus, kasvuston hoitotoimenpiteet, mm. sadetus ja tuholaisien torjunta sekä korjuu tulevat koeolosuhteissa hoidetuiksi toisin kuin käytännössä maatiiloilla. Vasta kun tunnetaan järjestetyissä kenttäkokeissa ja tiiloilla vallitsevat erot voidaan koetuloksista tehdä käytäntöön paremmin soveltuvia johtopäätöksiä.

Tässä tutkimuksessa on perehdytty yhden ravinteen, typen, vaikutuksen selvittämiseen ja muut tekijät on oletettu vakioiksi. Lannoitus-satotaso suhteen tarkempi selvittely edellyttää kaikkien tärkeimpien ravinteiden seuraamista. Tämän ohella on huomioitava muut satoon vaikuttavat tekijät. Satotaso riippuu lannoituksen ohella hyvin monista ulkoisista tekijöistä, jotka ovat usein paikallisia, mikä vaikeuttaa tarkastelua.

Kirjallisuus

- BRADFORD, L. & JOHNSON, G. 1953. Farm Management Analysis. 438 p. New York.
- BINDER, L. & ORTNER, K. 1978. Die Abhängigkeit der Erträge vom Witterungsverlauf. Schriftenreihe des Agrarwirtschaftlichen Institutes des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft 28.
- COOKE, G. 1972. Fertilizing for Maximum Yield. 296 p. London.
- EVANS, L. 1963. Environmental Control of Plant Growth. 449 p. Academic Press.
- FAO 1979. Fertilizer Yearbook 1978. Rome.
- HEADY, E. & DILLON, J. 1961. Agricultural Production Functions. 667 p. Ames.
- HJELM, L. 1953. Kostnadsanalys för driftsekonomiska syften inom lantbruket. Meddelanden från Jordbrukets Utredningsinstitut 13-53.
- IHAMUOTILA, R. 1970. The Effect of Increasing Nitrogen Fertilization on the Economic Result in Corn Production. Maatal.tal. tutk.lait. julk. 21:1-25.
- JOHNSTON, J. 1972. Econometric Methods. 437 p. 2. ed. Tokyo.
- KETTUNEN, L. & TORVELA, M. 1970. The Intensity and Interdependence of Gross Return and Factors of Production in Agriculture. Maatal. tal. tutk.lait. julk. 19:1-92.
- KETTUNEN, L. 1980. Suomen ravintotuotantomalli. Käsikirjoitus.
- KURKI, M. 1972. Suomen peltojen viljavuudesta II. 182 s. Helsinki.
- "- 1979. Suomen peltojen viljavuuden kehityksestä. 41 s. Helsinki.
- MELA, T. & HAAPALAINEN, M. 1976. Hehtaarisatojen ja tärkeimpien satoon vaikuttavien tekijöiden kehitys vuosina 1956-75 ja ennuste vuoteen 1985. Maatalouden tutkimuskeskus Kasvinviljelylaitoksen tiedote 4:1-60.

- PELLERVO-SEURAN MARKKINATUTKIMUSLAITOKSEN tutkimuksia 221
1976. 30 s. (Ref. MELA & HAAPALAINEN 1976).
- ROUHIAINEN, J. 1972. Aggregate Crop Production Functions in
Finnish Agriculture in 1956/57 - 1968/69. Maatal.
tal. tutk.lait. julk. 28, 1:1-71.
- RYYNÄNEN, V. 1970. Tutkimuksia maatalouden tuotantofunktioista
Sisä-Suomen kirjanpito viljelmillä vuosina 1960-66.
Acta Agr. Fenn. 120:1-65.
- RYYNÄNEN, V. & PÖLKKI, L. 1973. Maanviljelystalous. 263 s.
- SALLASMAA, S. 1980. Lannoitus ja kalkitus. Maatalouskalenteri 1980.
ss. 116-124.
- SANDQVIST, E. 1961. Analys av produktivitetsförhållandena
i svenskt lantbruk. Meddelanden från ekonomiska
institutionerna. 161 s. Uppsala.
- SUOMELA, S. 1964. Kasvinviljelyn järjestäminen. Maanviljelijän
tietokirja 3. ss. 275-293.
- Suomen virallinen tilasto vv. 1920 ja 1929 III Maatalous.
- TURKKI, A., POKKI, J. & RYYNÄNEN, V. 1979. Nurmisäilörehun valmis-
tuksen, käsittelyn ja ruokinnan talous. Helsingin
yliopiston maanviljelystalouden laitoksen julkaisuja
2/1979:1-75.
- TÄHTINEN, H. 1979. Säilörehunurmen typpi- ja kalilannoitus. Maa-
talouden tutkimuskeskus. Maanviljelyskemian ja -fysii-
kan laitoksen tiedote 9:1-42.
- VARIS, E. 1976. Viljasatojen nousun edellytykset. Maatalous
69:197-200.
- VASAMA, P.-M. & VARTIA, Y. 1973. Johdatus tilastotieteeseen,
osa II:341-725.
- VESTERGAARD JENSEN, E. 1959. Sammenligning af forskellige typer
af produktionsfunktioner. Nordisk Jordbrugsforskning
41:159-169.
- Väkilannoitteiden myynnin jakautuminen maatalouskeskusalueittain
lannoitusvuosina 1968/69-1978/79. Kemira Oy.
- WEINSCHENK, G. 1964. Die Optimale Organization des Land-
wirtschaftlichen Betriebes. 206 p. Hamburg.

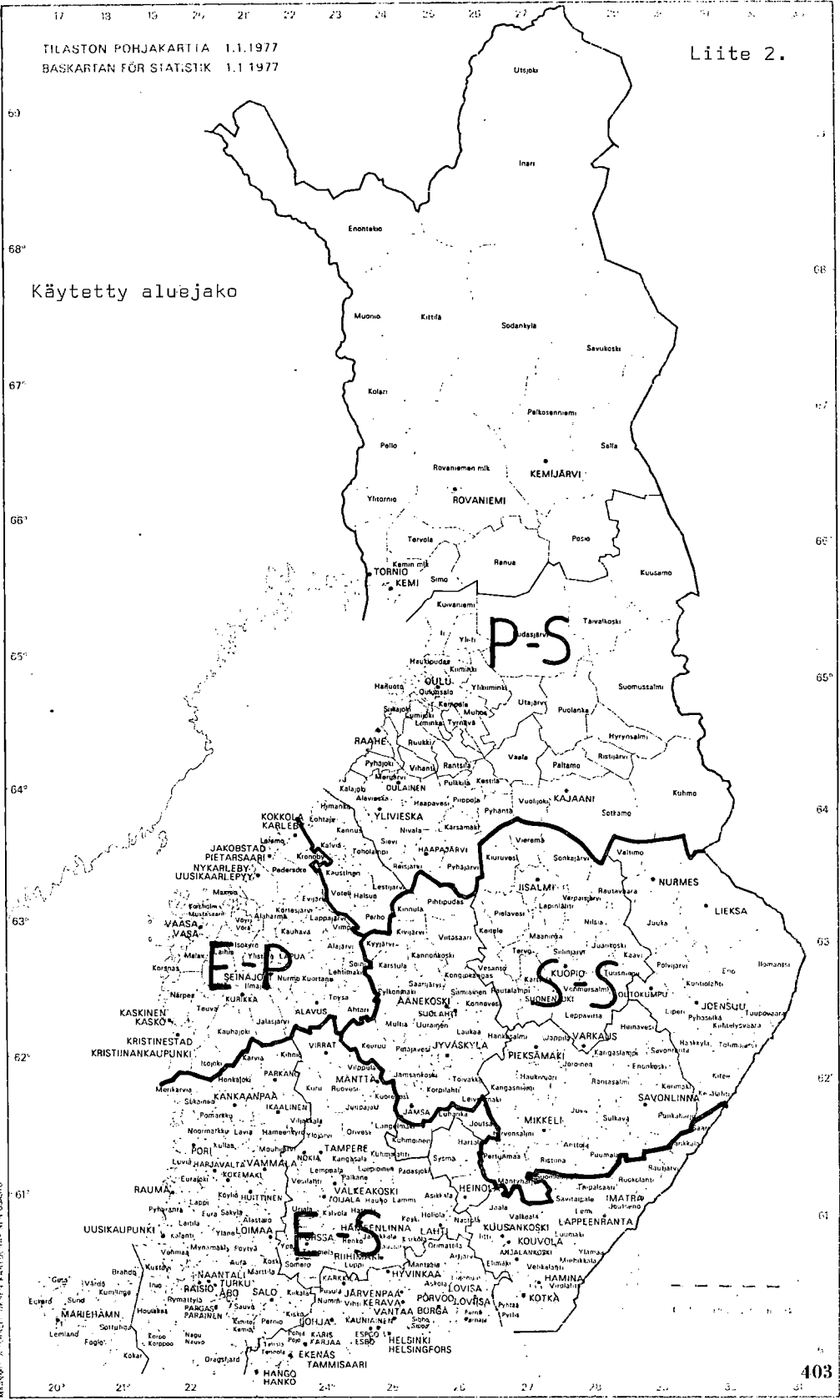
Pääravinteiden myynti kiloina peltohehtaaria kohden eri maatalouskeskusten alueille lannoitusvuosina 1977-78 ja 1978-79

Maatalous- keskusalue	Pelto- pinta-ala 1000 ha 1)	Typeä (N) kg/ha		Fosforia (P ₂ O ₅) kg/ha		Kalia (K ₂ O) kg/ha		Pääravinteita (N + P ₂ O ₅ + K ₂ O) kg/ha		Pääravinteet suhdelukuna 1v. 1978-79 kun N = 100	
		1977-78	1978-79	1977-78	1978-79	1977-78	1978-79	1977-78	1978-79	P ₂ O ₅	K ₂ O
Uudenmaan mtk ja Nylands Sv. Lbs	206,3	75,0	85,4	65,9	72,6	55,4	62,0	196,3	220,0	85	73
Varsinais-Suomen mtk. ja Finska Hushållningss.	277,8	80,4	82,0	76,2	79,6	63,8	68,1	220,4	229,7	97	83
Satakunnan	178,9	67,1	72,2	68,6	73,4	60,3	65,1	196,0	210,7	102	90
Hämeen läänin	161,2	73,7	80,2	70,5	74,8	57,2	62,0	201,4	217,0	93	77
Pirkanmaan	107,4	64,0	68,9	48,6	51,3	41,9	45,3	154,5	165,5	75	66
Itä-Hämeen	70,7	64,9	74,9	55,1	59,2	45,8	50,7	165,8	184,8	79	68
Kymen läänin	156,7	67,8	78,9	54,9	59,9	47,2	52,3	169,9	191,1	76	66
Mikkelin läänin	101,9	62,3	71,6	49,1	53,7	44,9	50,0	156,3	175,3	75	70
Kuopion läänin	155,7	78,0	91,6	48,8	56,4	45,1	52,9	171,9	200,9	62	58
Pohjois-Karjalan	106,0	66,9	78,4	49,1	54,8	43,7	49,7	159,7	182,9	70	63
Keski-Suomen	103,1	61,4	70,7	46,1	52,6	44,4	50,2	151,9	173,5	74	71
Etelä-Pohjanmaan	258,9	66,8	73,2	58,3	62,3	49,9	54,1	175,0	189,6	85	74
Österbottens Sv. Lbs.	102,3	50,8	52,4	53,7	57,0	47,0	50,3	151,9	159,7	109	96
Oulun	227,2	66,8	81,6	50,9	60,0	50,9	60,6	168,6	202,2	74	74
Kainuun	42,2	73,6	81,0	48,7	55,1	51,4	56,8	173,7	192,9	68	70
Lapin läänin	55,0	56,1	58,9	47,8	52,2	50,2	55,2	154,1	166,3	89	94
Koko maa 1978-79	2 311,5	77,0	85,4	63,9	72,6	57,2	62,0	198,1	220,0	83	74
" " 1977-78	2 334,7	69,1	77,0	58,7	63,9	51,7	57,2	179,5	198,1	85	75
" " 1976-77	2 420,9	64,2	69,1	56,3	58,7	48,5	51,7	169,0	179,5	88	76
" " 1975-76	2 405,2	80,1	80,1	68,3	68,3	57,7	57,7	206,1	169,0	85	72
" " 1974-75	2 403,4	85,8	85,8	78,5	78,5	65,1	65,1	229,4	206,1	91	76
" " 1973-74	2 382,2	78,9	78,9	78,4	78,4	63,2	63,2	220,5	229,4	99	80
" " 1972-73	2 415,5	68,5	68,5	69,8	69,8	56,4	56,4	194,7	194,7	102	82
" " 1971-72	2 463,7	67,2	67,2	68,6	68,6	54,9	54,9	190,7	194,7	102	82
" " 1970-71	2 554,8	61,4	61,4	65,0	65,0	50,5	50,5	176,9	190,7	106	82
" " 1969-70	2 577,2	57,8	57,8	61,8	61,8	47,8	47,8	167,4	176,9	107	83
" " 1968-69	2 672,3	47,7	47,7	54,2	54,2	42,3	42,3	144,2	167,4	114	89

TILASTON POHJAKARTTIA 1.1.1977
BASKARTAN FÖR STATISTIK 1.1.1977

Liite 2.

Käytetty aluejako



Eräiden peltokasvien toteutuneet hehtaarisadot (T) koko maassa vuosina 1969-78 ja vuosien 1969-78 perusteella lasketut trendiarvot (Tr) (kg/ha).

	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1969-78 keskim.
Ruis											
T	1600	1990	2240	2000	2390	1830	2150	2730	1700	1940	2077
Tr	2034	2044	2053	2063	2072	2082	2091	2101	2110	2120	
Ohra											
T	2260	2310	2590	2450	2170	2170	2680	3070	2510	2570	2478
Tr	2280	2324	2368	2412	2456	2500	2544	2588	2632	2677	
Kaura											
T	2360	2540	2640	2490	2210	2020	2540	2850	2450	2420	2452
Tr	2427	2433	2438	2444	2449	2455	2460	2466	2472	2477	
Kevätvehnä											
T	2180	2200	2530	2550	2200	2810	2720	2840	2250	2110	2439
Tr	2374	2388	2403	2417	2432	2446	2461	2475	2490	2504	
Syysvehnä											
T	2670	2600	2640	2690	3210	2490	3400	3290	2440	1880	2731
Tr	2828	2807	2785	2764	2742	2720	2699	2677	2655	2734	
Säilörehu ¹⁾											
T	2798	3550	3530	3830	3510	3680	3392	3610	3208	3532	3464
Tr	3369	3390	3411	3432	3453	3474	3496	3517	3538	3559	
Peltoheinä											
T	3100	3570	3700	4070	4090	3770	3520	4100	3730	3810	3746
Tr	3540	3586	3632	3678	3723	3769	3815	3860	3906	3952	

1) kuiva-aine kg/ha

Eräs Suomen ravintotuotantomallin leipäviljan ja rehujen satotasoja kuvaavien funktioiden skenaarioajo eri vuosina (t=1-10).

Leipävilja

	λ=	0	30	60	90	120	150	180	210	240	f(OPT)	OPTIMI
1(T 1)	1701.50	2179.34	2523.26	2733.26	2809.24	2751.50	2559.74	2234.06	1774.46	2788.10	195.03	195.03
1(T 2)	1706.50	2190.87	2541.31	2757.84	2840.45	2789.13	2603.90	2284.75	1831.67	2819.18	106.24	106.24
1(T 3)	1711.50	2202.32	2559.21	2782.19	2871.24	2826.38	2647.59	2334.89	1888.27	2850.22	107.43	107.43
1(T 4)	1716.50	2213.69	2576.96	2806.31	2901.74	2863.25	2690.84	2384.51	1944.26	2891.24	108.60	108.60
1(T 5)	1721.50	2224.99	2594.56	2830.21	2931.94	2899.75	2733.64	2433.61	1999.66	2912.23	109.75	109.75
1(T 6)	1726.50	2236.22	2612.02	2853.89	2961.85	2935.89	2776.01	2482.20	2054.48	2943.19	110.88	110.88
1(T 7)	1731.50	2247.33	2629.33	2877.37	2991.48	2971.48	2817.95	2530.31	2108.74	2974.10	111.98	111.98
1(T 8)	1736.50	2258.46	2646.51	2900.63	3020.84	3007.12	2859.49	2577.93	2162.46	3004.97	113.07	113.07
1(T 9)	1741.50	2269.49	2663.55	2923.70	3049.92	3042.23	2900.62	2625.08	2215.63	3035.80	114.14	114.14
1(T10)	1746.50	2280.44	2680.46	2946.57	3078.75	3077.01	2941.35	2671.77	2268.27	3066.58	115.19	115.19

Rehut

	λ=	0	30	60	90	120	150	180	210	240	f(OPT)	OPTIMI
1(T 1)	1135.40	1794.35	2226.92	2433.02	2412.68	2165.90	1602.68	993.02	66.92	2433.06	90.01	90.01
1(T 2)	1140.40	1805.82	2244.79	2467.33	2443.42	2203.08	1736.29	1043.07	123.41	2459.53	90.68	90.68
1(T 3)	1145.40	1817.20	2262.56	2481.48	2473.95	2239.99	1779.59	1092.75	179.47	2485.99	91.35	91.35
1(T 4)	1150.40	1828.53	2280.22	2505.47	2504.28	2276.64	1822.57	1142.06	235.11	2512.42	92.00	92.00
1(T 5)	1155.40	1839.81	2297.78	2529.30	2534.39	2313.04	1865.25	1191.01	290.34	2538.84	92.64	92.64
1(T 6)	1160.40	1851.04	2315.23	2552.99	2564.30	2349.18	1907.62	1239.61	345.17	2565.22	93.27	93.27
1(T 7)	1165.40	1862.21	2332.59	2576.52	2594.02	2385.07	1919.69	1287.86	399.59	2591.59	93.90	93.90
1(T 8)	1170.40	1873.34	2349.85	2599.91	2623.53	2420.72	1991.46	1335.77	453.63	2617.92	94.51	94.51
1(T 9)	1175.40	1884.42	2367.01	2623.15	2652.86	2456.12	2032.35	1383.33	507.28	2644.22	95.11	95.11
1(T10)	1180.40	1895.46	2384.08	2646.25	2681.29	2491.29	2074.15	1430.57	560.55	2670.49	95.71	95.71

```

2
FUURTEO= λ=AO+A1*(T-1)+B1+LB(B+λ*(T-1))*X+C*X**2
AHHÄ PX4, SUHDELUKU JA TAX
>2 0.0 0957.40.0
AHHÄ T-ARVO JA SEH LISÄUS.
>1.1
AHHÄ AO, A1, B1, B2, C, PX, PY
>1701.5,0.18,16,0.03276,-0.0744,203.09,96.0
UUSI SIIVU=1,LOPETUS=0
80

```

```

>1
BUDET ALKUARVOY=1, LOPETUS=0, UUSI KIERRUS=2
AHHÄ AO, A1, B1, B2, C, PX, PY
>1135.4,0.0,27.74,0.02275,-0.1258,203.09,78.59
UUSI SIIVU=1,LOPETUS=0
>3

```

```

>0
BUDET ALKUARVOY=1, LOPETUS=0, UUSI KIERRUS=2
>0

```

