

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

KASVINVILJELYLAITOKSEN TIEDOTE N:o 1

ARTO KALLINEN, VELI POHJONEN JA TUULA PÄÄKYLÄ:

VILJELYVARMUUDESTA

TIKKURILA 1976

Maataloustutkimuksen neuvottelukunnan esityksestä myönsi maa- ja metsätalousministeriö vuonna 1975 varoja maataloudellisten yhteistutkimusten määrärahasta (30.70.27) viljelykasvien sadon määrän ja laadun riskialttiutta koskevaa tutkimusta varten. Tutkimukseen osallistuvat Maatalouden tutkimuskeskuksen Kasvinviljelylaitos, Helsingin yliopiston Kasvinviljelytieteen laitos ja Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tutkimus aloitettiin vuonna 1975 ja päättyy vuonna 1978. Tutkimusselostukset laaditaan osaselvityksinä. Esillä oleva työ on ensimmäinen osaselvitys ja koskee tutkimusmenetelmiä viljelyvarmuuden eli riskialttiuden selvittämiseksi käyttäen testikasvina sokeri-juurikasta. Aineisto on saatu Sokerijuurikkaanviljelyn Tutkimuskeskuksesta sekä Oy Salon Sokeritehtaalta ja Oy Juurikas-sokerilta, joille työryhmä esittää parhaat kiitokset.

Tikkurilassa 19.2.1976

Jaakko Mukula
tutkimusryhmän johtaja

VILJELYVARMUUDESTA

Arto Kallinen¹, Veli Pohjonen² ja Tuula Pääkylä²

- 1) 35540 Juupajoki
- 2) Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen
laitos, Viikki, 00710 Helsinki 71

Johdanto

Kasvinviljelyssä on ruvettu viime vuosina yhä enemmän kiinnittämään huomiota siihen, kuinka varmasti saavutettu satotaso voidaan säilyttää vuodesta toiseen.

Kansantaloudelle ja yksityiselle viljelijälle olisi molemmille eduksi, jos viljelyskasveista saataisiin jatkuvasti ja mahdollisimman varmasti paitsi suuria, myös hyvälaatuisia satoja.

Sadon saavuttamisen varmuus tuli yllättäen esille ns. vihreän vallankumouksen yhteydessä. Kehitysmaiden olosuhteisiin oli pystytty jalostamaan entistä satoisampia vehnä- ja riisilajikkeita. Näiden varaan perustuva viljely osoittautui kuitenkin haavoittuvaksi. Kun sattui epäedullisia kasvukausia ja kun tuholaiskannat olivat normaalia voimakkaammat, viljelykset kärsivät pahoja takaiskuja. Uusien jalosteiden viljelyvarmuus oli heikompi kuin aikaisemmin viljeltyjen jalosteiden. Ilmiöstä käytetään myös nimeä ekologinen toleranssi. Vehnän ja riisin jalostuksen aikana oli menetetty osa ekologista toleranssia.

Sadon saamisen varmuus on ajankohtainen kysymys myös Suomessa. Kasvinjalostuksen ja kehittyneiden viljelymenetelmien ansiosta hehtaarisadot ovat nousseet. Onko viljelyvarmuudessa nykyään eroja toisaalta eri kasvien ja toisaalta maan eri osien välillä? Onko nykyisen viljelyn vallitessa odotettavissa pahoja takaiskuja, mikäli säätöolosuhteet tai tuholaismäärät ovat jonakin vuonna erityisen poikkeukselliset?

Viljelyvarmuutta voidaan mitata esimerkiksi variaatiokertoimella (esim. PAATELA & SUCMELA 1960). Sillä saadaan eri viljelyskasvien välinen vertailu mahdolliseksi, koska satovaihtelua mitataan prosentteina satotasosta. Variaatiokertoimen varjopuolena on sidonnaisuus keskiarvoon. Variaatiokertoimella saadaan kuitenkin nopeimmin ja yksinkertaisimmin tietoja eri viljelyskasvien riskialttiudesta.

Tässä tutkimuksessa esitetään viljelyvarmuuden laskeminen todennäköisyyden pohjalta. Tutkimus on teoreettinen taustaselvitys eri viljelyskasvien viljelyvarmuutta Suomen eri osissa tutkivassa projektissa. Vastausta etsitään seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Mikä on viljelyvarmuus sille, että viljelykasvin sadon määrä ylittää tietyn satotason?
- 2) Mikä on viljelyvarmuus sille, että viljelykasvin sadon laatu ylittää tietyn laatuvaatimuksen?
- 3) Mikä on viljelyvarmuus sille, että viljelykasvin sadon määrä ylittää tietyn satotason ja samanaikaisesti sadon laatu ylittää tietyn laatuvaatimuksen (yhdistetty viljelyvarmuus)?

Aineisto ja sen testaus

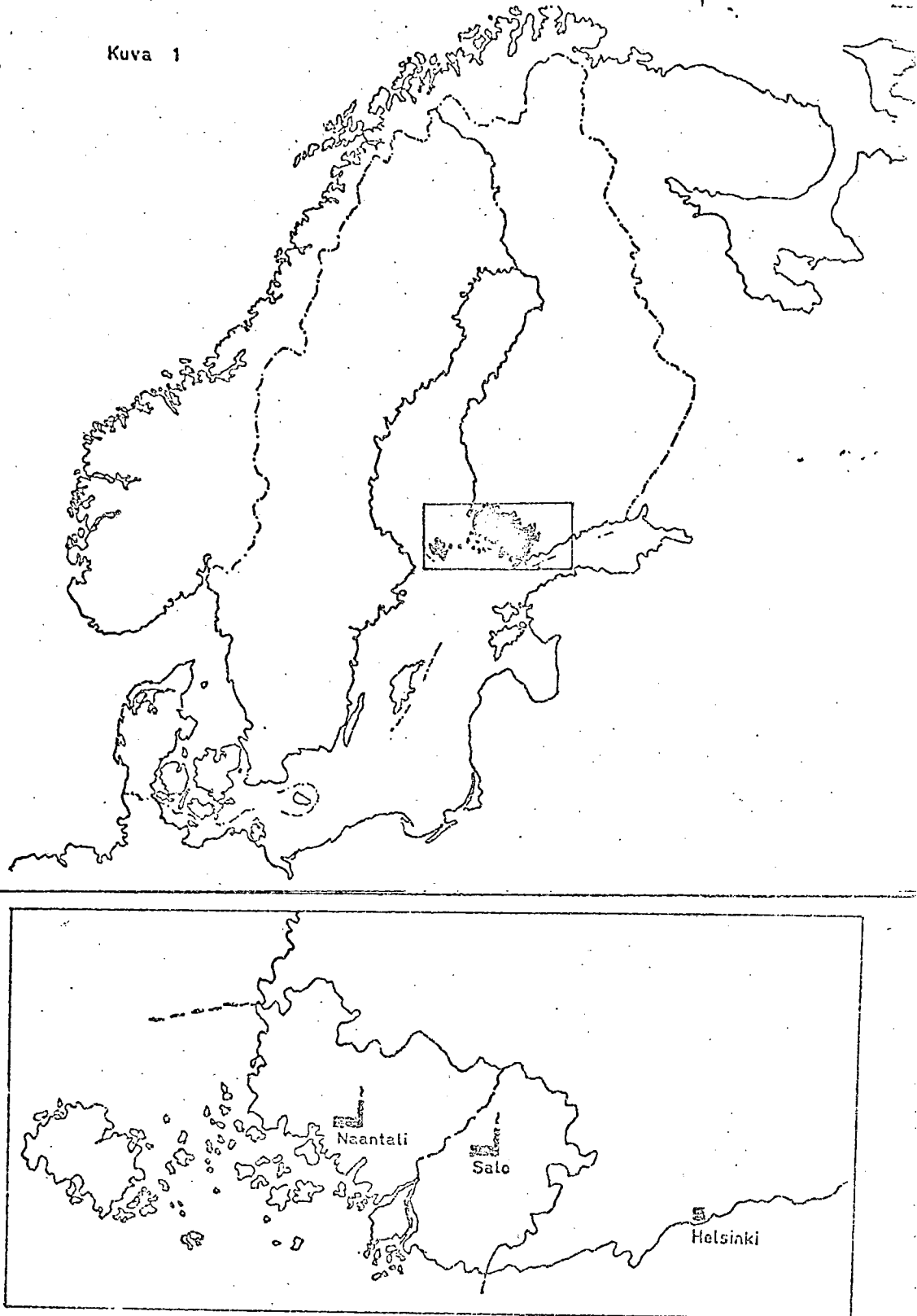
Esimerkkikasviksi valittiin sokerijuurikas, josta on saatavissa tarkimmat pitkäaikaiset sätotiedot. Pait-
 si sadon määrää, vuosittain on määritetty myös sadon
 laatua kuvaava ominaisuus, sokeripitoisuus. Viljely-
 varmuus lasketaan kahden Lounais-Suomessa sijaitsevan
 tehtaan: Oy Salon Sokeritehtaan ja Oy Juurikassoke-
 rin (Naantalissa) sopimusviljelyalueille (kuva 1).
 Lähtötietoina käytetään kummankin tehdasalueen keski-
 määräisiä vuotuisia satoja ja sokeripitoisuuksia (ku-
 vat 2 ja 3) vuosilta 1953...1974.

Sokerijuurikkaan sätotaso on selvästi noussut vuodes-
 ta 1953 lähtien sekä Salon että Naantalin alueella.
 Sadolle voidaan laskea lineaarinen trendi

$$(1) \quad y_S = 18800 + 558 \cdot (z - 1953),$$

$$(2) \quad y_N = 19800 + 641 \cdot (z - 1953),$$

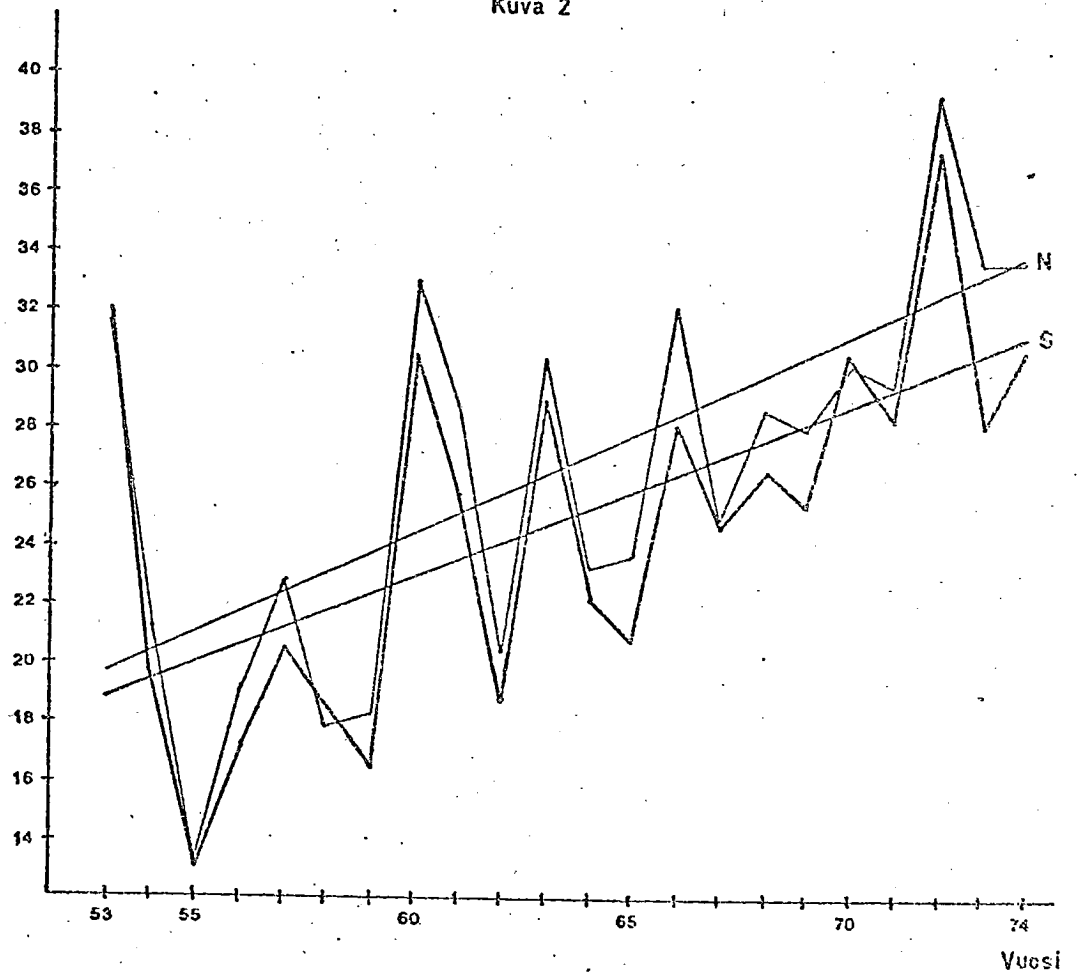
Kuva 1



Kuva 1. Salon sokeritehtaan ja Juurikessokerin (Naantali) sopimusviljelyalueet.

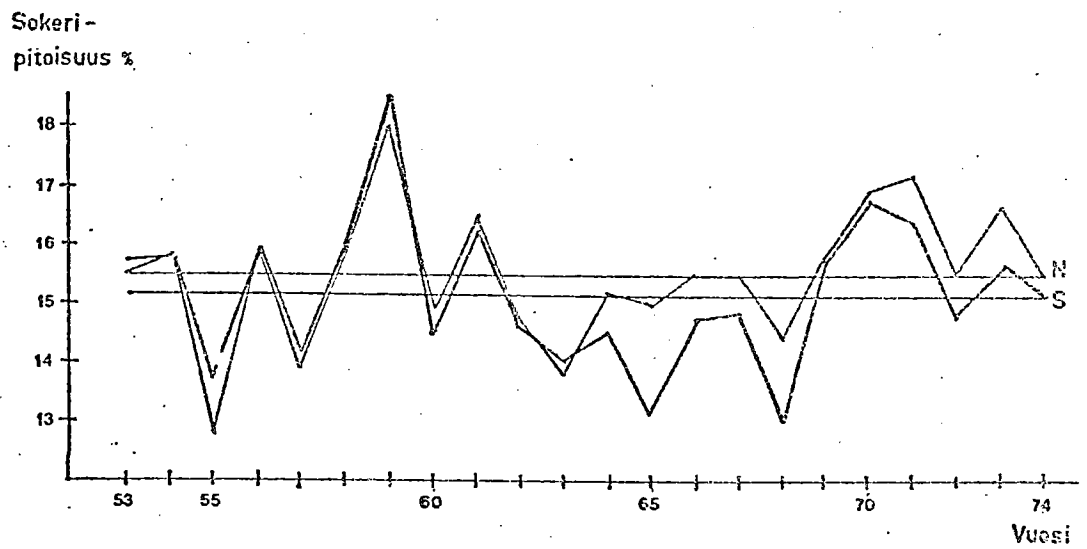
Sokerijuurikassato
tn/ha

Kuva 2



Kuva 2. Vuotuiset keskimääräiset sokerijuurikassadot Salon (S) ja Naantalin (N) alueilla sekä vastaavat trendisuorat.

Kuva 3



Kuva 3. Vuotuiset keskimääräiset sokeripitoisuudet Salon ja Naantalin alueilla.

missä y_S ja y_N ovat vuotuiset sokerijuurikas-
sadot (kg/ha) Salon ja Naantalin alueella ja z
on vuosiluku.

Satotason nouseva trendi on merkitsevä, sillä trendi-
suoran kulmakertoimen t -arvo on sekä Salon ($t_S = 2.7$)
että Naantalin ($t_N = 2.9$) alueella suurempi kuin kriit-
tinen arvo $t_{20}(0.05) = 2.086$. Trendin mukaan vuoden
1975 sokerijuurikassato olisi Salon alueella 31100
kg/ha ja Naantalin alueella 33900 kg/ha.

Sokeripitoisuudella ei ole nousevaa eikä laskevaakaan
trendiä, sillä molemmat kulmakertoimien t -arvot,
 $t_S = -0.2$ ja $t_N = 1.2$ ovat itseisarvoltaan kriit-
tistä arvoa pienempiä. Sokeripitoisuus on siten py-
synyt viimeiset 22 vuotta molempien tehtaiden alueil-
la keskimäärin muuttumattomana, vaikka vuotuiset poik-
keamat ovat olleet suuriakin. Naantalin alueella saa-
daan hivenen sokeripitoisempaa juurikasta kuin Salon
alueella. Keskimääräiset sokeripitoisuudet ovat
 $\bar{x}_S = 15.2\%$ ja $\bar{x}_N = 15.5\%$.

Seuraavaksi on tutkittava ovatko vuotuiset sadot ja
sokeripitoisuudet aineistossa normaalisti jakautuneet.

Asian havainnollistamiseksi ensin käsitellään sokeripitoisuus, jossa ei tarvitse ottaa trendiä huomioon. Sokeripitoisuuden hajonta (s_x) saadaan kaavalla

$$(3) \quad s_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} .$$

Hajonnaksi saadaan Salon alueella $s_{xS} = 1.25 \%$ ja Naantalin alueella $s_{xN} = 1.19 \%$.

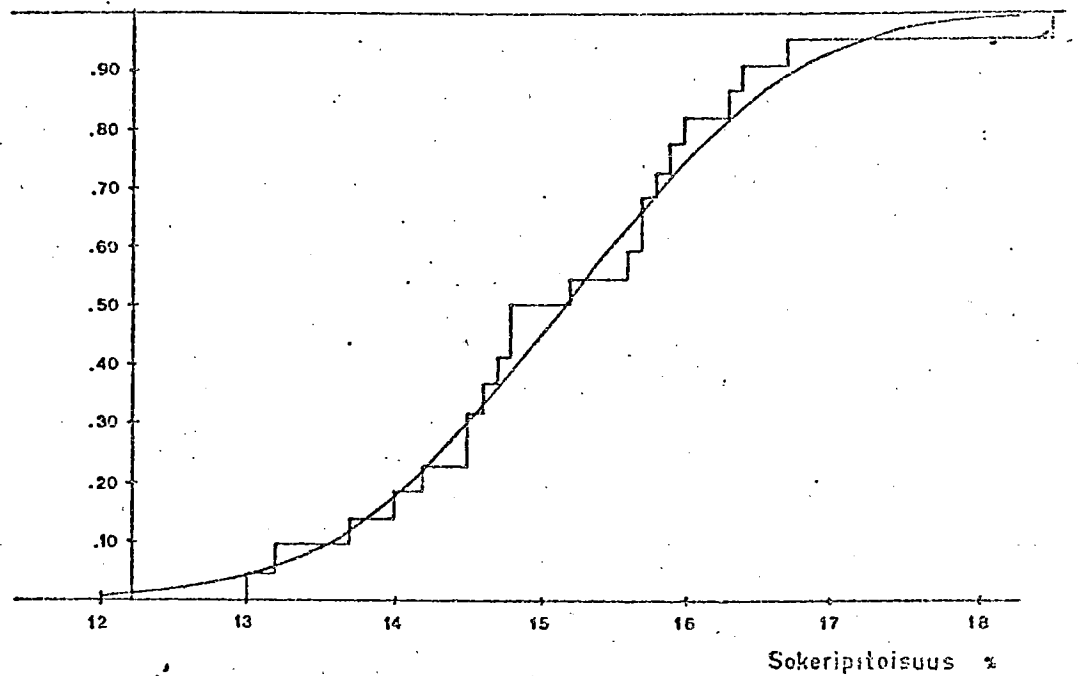
Salon alueen vuotuisesta sokeripitoisuudesta (x_S) oletetaan, että se noudattaa normaalijakautumaa, missä parametreinä ovat sokeripitoisuuden odotusarvo 15.2 % ja varianssi $(1.25 \%)^2$ eli

$$(4) \quad x_S \sim N(15.2, 1.25^2) .$$

Oletus on testattava KOLMOGOROV - SMIRNOV -testillä (ks. esim. LINDGREN 1970, s. 329), koska vuosihavain-
toja on niin vähän (22 kpl), että χ^2 -testiä ei voi-
da käyttää. Testiä varten määritetään otoskertymä-
funktio (kuva 4), joka esittää kuinka suuri osa vuo-
sista on ollut sellaisia, että sokeripitoisuus on jää-
nyt jonkin tietyn rajan alle. Salon alueella se on
ollut kerran kymmenessä vuodessa alle n. 13.5 %, joka
toinen vuosi alle n. 15.5 % ja yhdeksänä vuonna kym-
menestä alle n. 16.5 %.

Kuvaan 4 on piirretty myös oletuksen (4) mukainen nor-
maalijakautuman kertymäfunktio. KOLMOGOROV - SMIRNOV
-testissä etsitään otoskertymäfunktion ja normaali-
jakautuman kertymäfunktion välinen suurin etäisyys.
Tämä sattuu pisteeseen 14.8 %, jossa havaitun arvon
ja lasketun arvon välinen erotus $D = 0.118$. Se on
pienempi kuin kriittinen arvo $D_{22}(0.20) = 0.220$
(LINDGREN 1970, s. 486). Tämän perusteella voidaan
hyväksyä oletus, että Salon alueen sokeripitoisuus
noudattaa normaalijakautumaa. Vastaavalla tavalla
voidaan tutkia Naantalin alueen sokeripitoisuus.
Myös se noudattaa normaalijakautumaa, koska testisuu-

Kuva 4



Kuva 4. Salon sokeritehtaan sopimusviljelyalueen sokeripitoisuuden otoskertymäfunktion (porrasviiva) ja oletuksen (4) mukaisen kertymäfunktion kuvaajat.

reeksi saadaan $D = 0,136$, joka on kriittisen arvon alapuolella.

Sokerijuurikassatoja tarkasteltaessa on huomioitava trendin vaikutus. Tässä tapauksessa tutkitaan, ovatko vuotuiset poikkeamat (u_i) trendisuorasta normaalisti jakautuneet. Hajonta trendisuoran suhteen (s_y) lasketaan kaavalla

$$(5) \quad s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2 / (n-2)} .$$

Hajonnaksi saadaan Salon alueella $s_{yS} = 5090$ kg/ha ja Naantalin alueella $s_{yN} = 5120$ kg/ha.

Salon alueen vuotuisesta sokerijuurikassadosta (y_S) oletetaan, että se noudattaa normaalijakautumaa, missä parametreinä ovat ko. vuoden trendisato ja varianssi $(5090 \text{ kg/ha})^2$ eli esimerkiksi vuonna 1975

$$(6) \quad y_S \sim N(31100, 5090^2).$$

Oletus voidaan testata KOLMOGOROV - SMIRNOV -testillä samoin kuin edellä. Testisuureeksi saadaan $D = 0.136$. Vastaavasti saadaan Naantalin osalta $D = 0.149$. Nämä ovat molemmat kriittisen arvon (0.220) alapuolella. Voidaan siis hyväksyä oletus, että sokerijuurikassadon vuotuiset poikkeamat trendisuorasta ovat normaalisti jakautuneet.

Vielä on selvitettävä riippuvatko sokeripitoisuus ja sokerijuurikassato toisistaan. Koska näihin liittyvät normaalisuusoletukset voitiin hyväksyä, riittää tutkia korreloivatko sokeripitoisuus ja sokerijuurikassato. Salon alueella korrelaatioksi saadaan $r_S = 0.0095$ ja Naantalin alueella $r_N = 0.0062$. Nämä ovat molemmat lähes =0. Tämän perusteella on todettava, että tutkimusajanjaksona (1953...74) sokeripitoisuus ja sokerijuurikassato eivät ole riippuneet toisistaan.

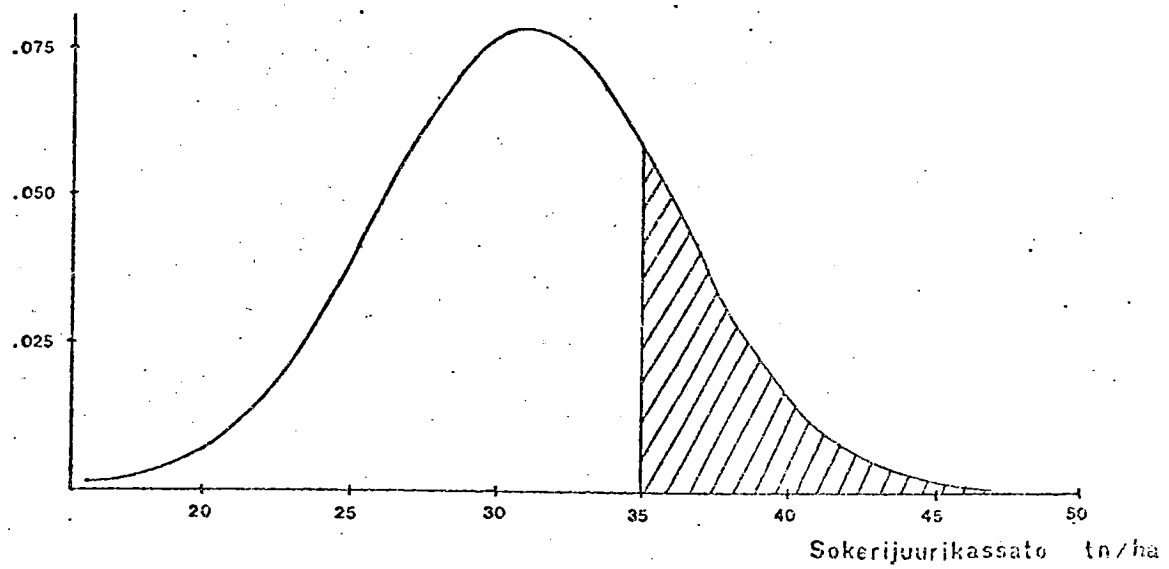
Viljelyvarmuus

Viljelyvarmuus määritellään normaaliajakautumasta saatavaksi todennäköisyydeksi, kun tietty sadon määrä- tai laatuvaatimus on asetettu. Otetaan esimerkiksi Salon alueen sokerijuurikassadot. Asetetaan vaatimus, että sokerijuurikassadon tulee olla vuonna 1975 vähintään 35000 kg/ha. Mikä on viljelyvarmuus?

Edellä osoitettiin, että Salon alueen sokerijuurikassadot noudattavat normaaliajakautumaa, jossa parametreina vuonna 1975 ovat trendisato 31100 kg/ha ja varianssi $(5090 \text{ kg/ha})^2$ (kuva 5). Viljelyvarmuus saadaan laske-
malla kuinka monta prosenttia kuvan 5 varjostettu pinta-
ala on koko kuvion pinta-alasta. Viljelyvarmuudeksi
saadaan esimerkkitapauksessa noin 22 %. Kun satovaa-
timusta alennetaan, viljelyvarmuus suurenee. Esimer-
kiksi vaatimusta 25000 kg/ha tai enemmän vastaa vilje-
lyvarmuus 89 %.

Viljelyvarmuuden määrittäminen pinta-aloja mittaamalla on työlästä. Se voidaan laskea yksinkertaisemmin mää-

Kuva 5



Kuva 5. Viljelyvarmuuden laskeminen normaalijakautuman pinta-aloista (viivoitettu ala/koko ala = viljelyvarmuus), satovaatimuksena vähintään 35 000 kg/ha.

räämällä viljelyvarmuusfunktio, jonka kuvaajalta viljelyvarmuudet voidaan lukea. Merkitään seuraavassa vuoden 1975 sokerijuurikassatojen normaalijakautumien tiheysfunktioita $g_S(y_S)$ (Salo) ja $g_N(y_N)$ (Naantali). Niitä vastaavat viljelyvarmuusfunktiot ovat $W_{gS}(y)$ ja $W_{gN}(y)$, missä y on satovaatimus. Salon alueen sokerijuurikassatojen viljelyvarmuus vuonna 1975 satovaatimuksena vähintään y saadaan integraalina

$$(7) \quad W_{gS}(y) = \int_y^{\infty} g_S(y_S) dy_S \cdot$$

Kun tähän sijoitetaan Salon alueen sokerijuurikassatojen normaalijakautuman tiheysfunktio vuodelle 1975, saadaan

$$(8) \quad W_{gS}(y) = \int_y^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 5090} e^{-\frac{(y_S - 31100)^2}{2 \cdot 5090^2}} dy_S \cdot$$

Vastaavasti Naantalin alueen sokerijuurikassatojen viljelyvarmuus vuonna 1975 satovaatimuksena vähintään y saadaan integraalina

$$(9) \quad W_{gN}(y) = \int_y^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 5120} e^{-\frac{(y_N - 33900)^2}{2 \cdot 5120^2}} dy_N .$$

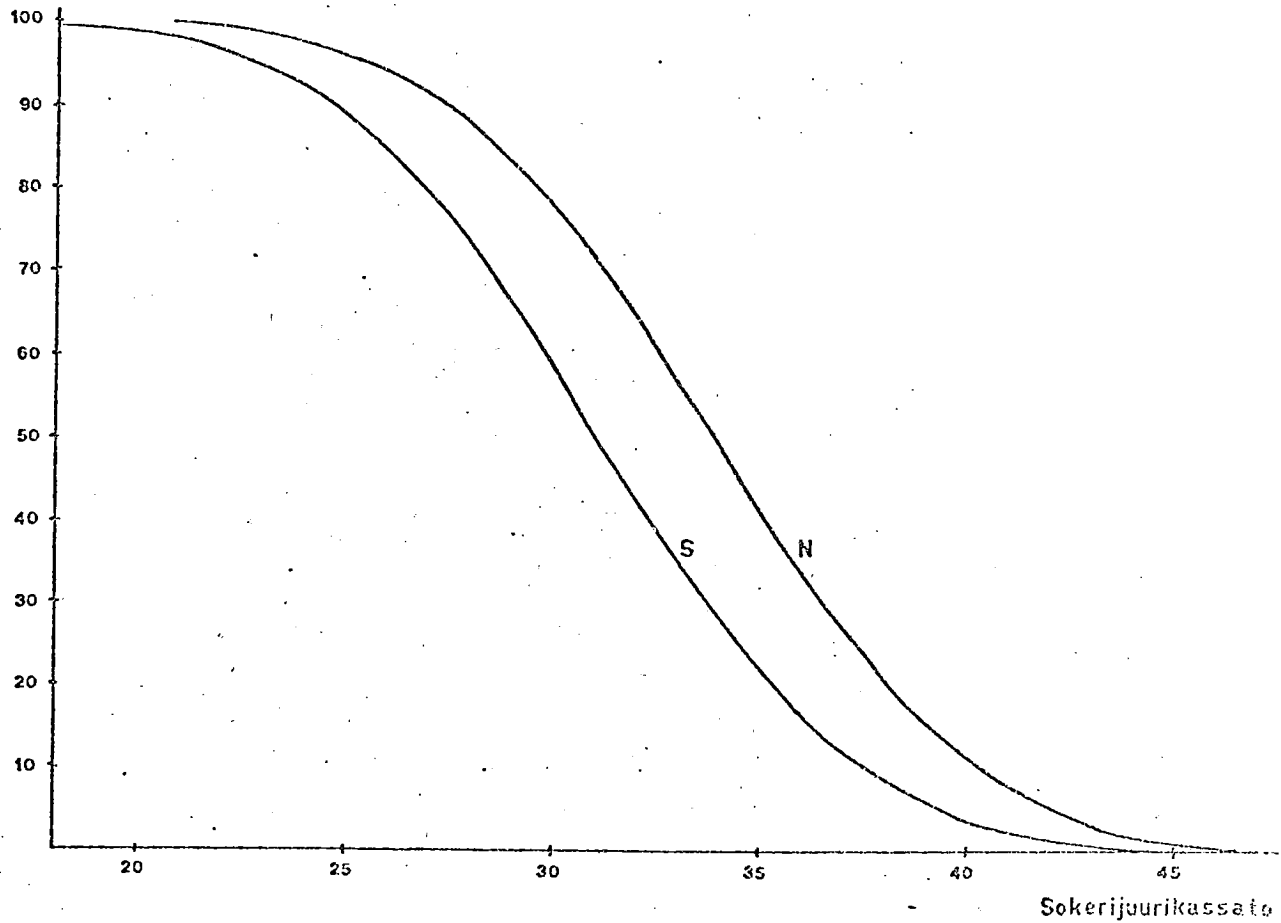
Yhtälöiden 8 ja 9 mukaiset viljelyvarmuusfunktiot on piirretty kuvaan 6. Niistä voidaan määrittää paitsi tiettyä satovaatimusta vastaava viljelyvarmuus, myös mikä sato saadaan, kun viljelyvarmuusvaatimus on annettu (taulukot 1 ja 2).

Merkitään sokeripitoisuuksien normaali-jakautumien tiheysfunktioita $f_S(x_S)$ ja $f_N(x_N)$. Niitä vastaavat viljelyvarmuusfunktiot ovat $W_{fS}(x)$ ja $W_{fN}(x)$, missä x on sokeripitoisuusvaatimus. Salon alueen sokeripitoisuuden viljelyvarmuus laatuvaatimuksena vähintään x saadaan yhtälöstä

Viljely -

varmuus %

Kuva 6



Kuva 6. Salon ja Naantalin sokeritehtaiden sokerijuurikas-satojen viljelyvarmuudet.

Taulukko 1. Eräitä sokerijuurikassatoja vastaavia viljelyvarmuuksia Salon ja Naantalin tehtaiden viljelyalueilla.

| Sato vaatimus vähintään kg/ha | Viljelyvarmuus Salon % | Viljelyvarmuus Naantali % |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 25 000 | 89 | 96 |
| 27 000 | 79 | 91 |
| 29 000 | 66 | 83 |
| 31 000 | 51 | 71 |
| 33 000 | 36 | 57 |
| 35 000 | 22 | 41 |

Taulukko 2. Eräitä viljelyvarmuuksia vastaavia sokerijuurikassatoja Salon ja Naantalin tehtaiden viljelyalueilla.

| Viljelyvarmuus % | Sato vähintään kg/ha Salon | Sato vähintään kg/ha Naantali |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 90 | 24 600 | 27 300 |
| 80 | 26 800 | 29 600 |
| 70 | 28 400 | 31 200 |
| 50 | 31 100 | 33 900 |
| 30 | 33 800 | 36 600 |
| 10 | 37 600 | 40 400 |

$$(10) \quad W_{fS}(x) = \int_x^{\infty} f_S(x_S) dx_S .$$

Kun tähän sijoitetaan Salon alueen sokeripitoisuuden normaalijakautuman tiheysfunktio (vrt. yht. 4), saadaan

$$(11) \quad W_{fS}(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 1.25} e^{-\frac{(x_S - 15.2)^2}{2 \cdot 1.25^2}} dx_S .$$

Vastaavasti Naantalin alueen sokeripitoisuuden viljelyvarmuus laatuvaatimuksena vähintään x saadaan yhtälöstä

$$(12) \quad W_{fN}(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 1.19} e^{-\frac{(x_N - 15.5)^2}{2 \cdot 1.19^2}} dx_N .$$

Sokeripitoisuuksien viljelyvarmuusfunktiot on piirretty kuvaan 7. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty eräitä sokeripitoisuuksia vastaavia viljelyvarmuuksia ja päinvastoin.

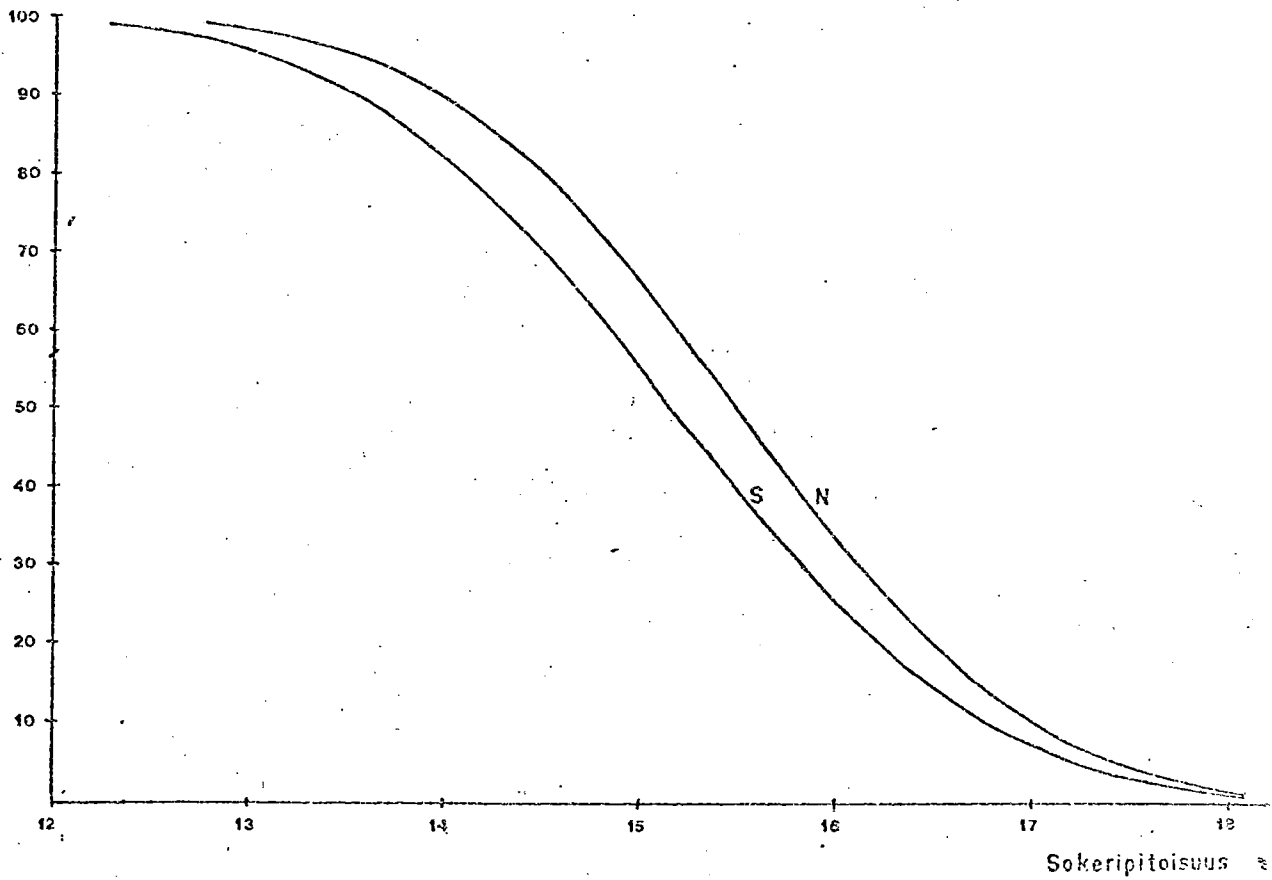
Yhdistetty viljelyvarmuus

Yhdistetty viljelyvarmuus määritellään kaksiulotteisesta normaalijakautumasta saatavaksi todennäköisyydeksi, kun tietty sadon määrävaatimus ja samanaikaisesti tietty sadon laatuvaatimus on asetettu. Vaaditaan esimerkiksi, että sokerijuurikassadon tulee olla vähintään 25000 kg/ha ja samanaikaisesti sokeripitoisuuden tulee olla vähintään 14 %. Mikä on viljelyvarmuus Salon ja Naantalin alueella?

Koska sokerijuurikassato ja sokeripitoisuus noudattavat molemmat normaalijakautumaa, niiden yhteisjakautuma on kaksiulotteinen normaalijakautuma. Merkitään sen tiheysfunktiota $h_S(x_S, y_S)$ ja $h_N(x_N, y_N)$. Salon

Viljely -
varmuus %

Kuva 7



Kuva 7. Salon ja Naantalin sokeritehtaiden sokeripitoisuuksien viljelyvarmuudet.

Taulukko 3. Eräitä sokeripitoisuuksia vastaavia viljelyvarmuuksia Salon ja Naantalin tehtaiden viljelyalueilla.

| Sokeripitoisuus- vaatimus, vähin- tään % | Viljelyvarmuus Salo % | Viljelyvarmuus Naantali % |
|--|-----------------------------|---------------------------------|
| 13.5 | 91 | 95 |
| 14.0 | 83 | 90 |
| 14.5 | 70 | 80 |
| 15.0 | 55 | 66 |
| 15.5 | 40 | 50 |
| 16.0 | 25 | 34 |

Taulukko 4. Eräitä viljelyvarmuuksia vastaavia sokeripitoisuuksia Salon ja Naantalin tehtaiden viljelyalueilla.

| Viljelyvarmuus % | Sokeripitoisuus vähintään % Salo | Sokeripitoisuus vähintään % Naantali |
|---------------------|--|--|
| 90 | 13.6 | 14.0 |
| 80 | 14.1 | 14.5 |
| 70 | 14.5 | 14.9 |
| 50 | 15.2 | 15.5 |
| 30 | 15.8 | 16.1 |
| 10 | 16.8 | 17.0 |

alueen sokerijuurikassadon yhdistetty viljelyvarmuus $W(x,y)$ vuonna 1975 määrävaatimuksena vähintään y ja laatuvaatimuksena vähintään x saadaan integraalina

$$(13) \quad W(x,y) = \int_x^{\infty} \int_y^{\infty} h(x,y) \, dy \, dx .$$

Kaksiulotteisen normaalijakautuman tiheysfunktio on

$$(14) \quad h(x,y) = \frac{1}{2\pi \sigma_x \sigma_y \sqrt{1-\rho^2}} e^{-Q(x,y)} ,$$

missä

$$(15) \quad Q(x,y) = \frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\rho(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} + \frac{(y-\mu_y)^2}{\sigma_y^2} \right\} .$$

Yhtälöissä 14 ja 15 σ_x on sokeripitoisuuden hajonta, σ_y sokerijuurikassadon hajonta trendisuoran suhteen, μ_x sokeripitoisuuden odotusarvo ja μ_y sokerijuurikassadon trendiarvo. Korrelaatiokerroin (ρ) sokerijuurikassadon ja sokeripitoisuuden välillä voidaan tulkitä nolllaksi (vrt. s. 10) sekä Salon että Naantalin alueella. Yhtälö 14 saadaan siten muotoon

$$(16) \quad h(x,y) = \frac{1}{2\pi \sigma_x \sigma_y} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}$$

eli

$$(17) \quad h(x,y) = \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_x} e^{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}} \right\} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y} e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \right\}.$$

Sokerijuurikassadon kaksiulotteisen normaalijakautuman tiheysfunktio on siten vastaavan sadon tiheysfunktion (ks. yht. 8) ja sokeripitoisuuden tiheys-

funktion (ks. yht. 11) tulo

$$(18) \quad h(x,y) = f(x) \cdot g(y) .$$

Kun tämä tulo sijoitetaan yhtälöön 13, saadaan

$$(19) \quad W(x,y) = \int_x^{\infty} \int_y^{\infty} f(x) \cdot g(y) \, dy \, dx$$

eli

$$(20) \quad W(x,y) = \left\{ \int_x^{\infty} f(x) \, dx \right\} \left\{ \int_y^{\infty} g(y) \, dy \right\} .$$

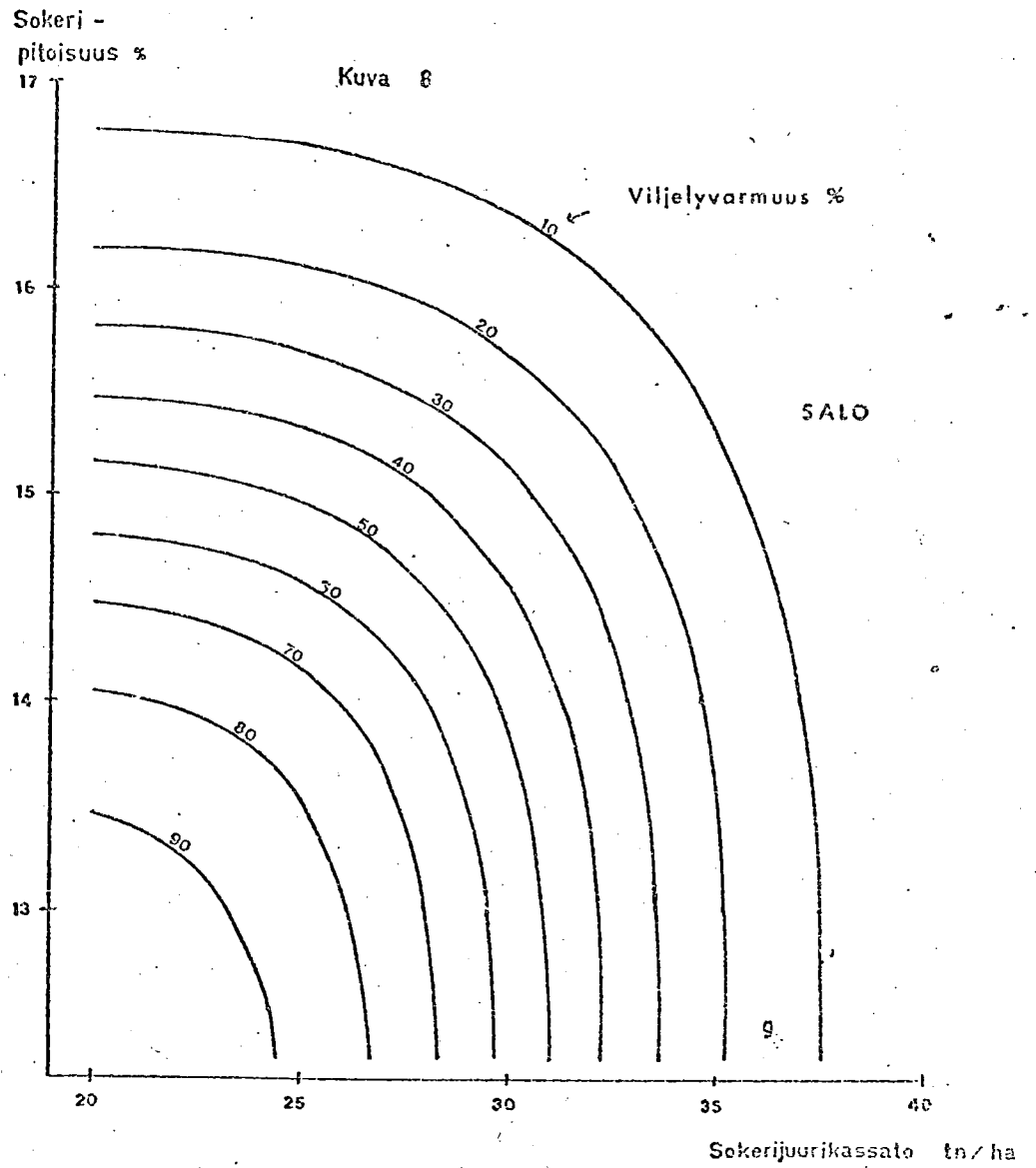
Yhdistetyksi viljelyvarmuudeksi saadaan sokerijuurikas-
sadon (määrän) ja sokeripitoisuuden viljelyvarmuuksien
tulo. Se on Salon alueella

$$(21) \quad W_S(x,y) = W_{fS}(x) \cdot W_{gS}(y)$$

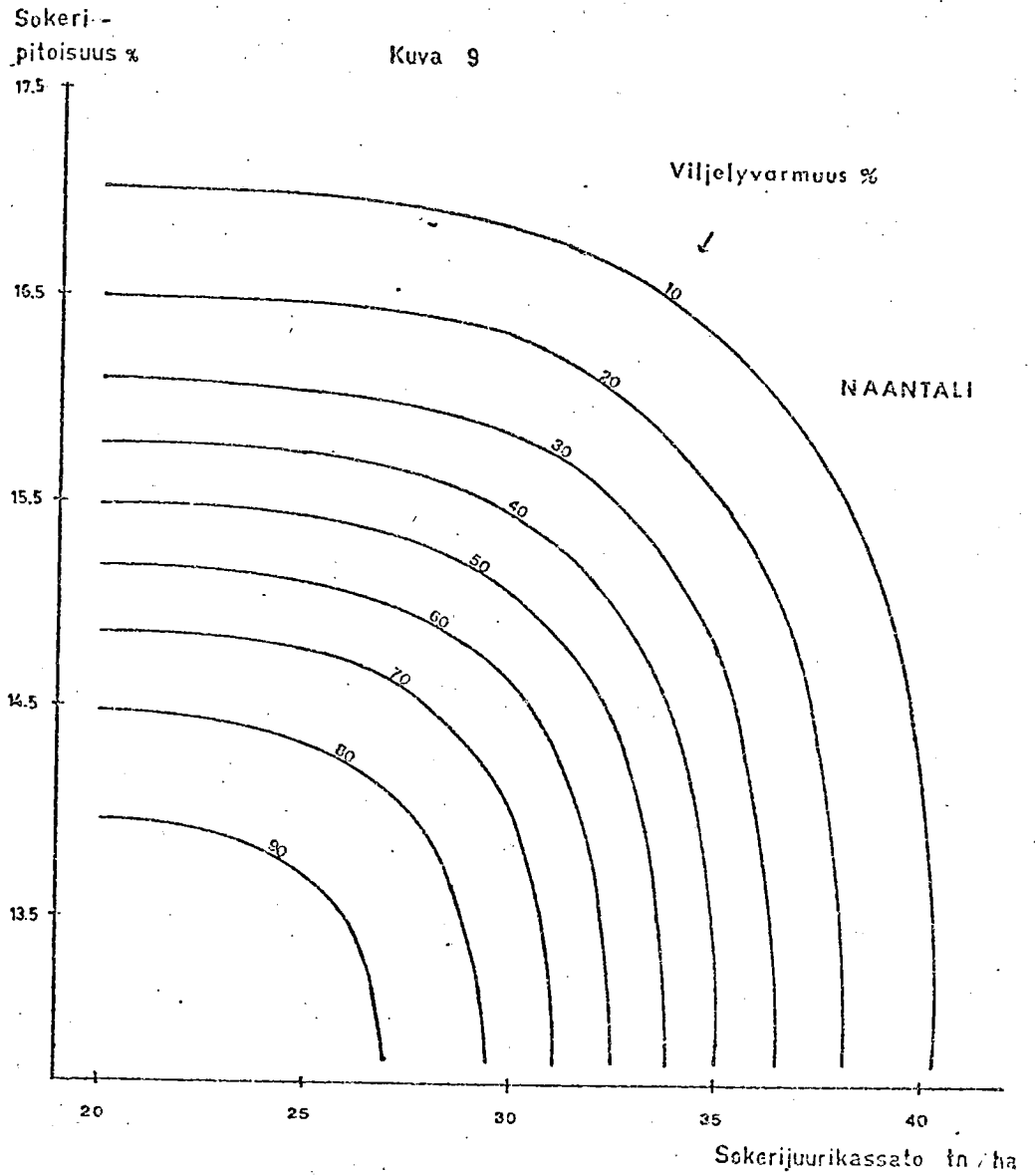
ja Naantalin alueella

$$(22) \quad W_N(x,y) = W_{fN}(x) \cdot W_{gN}(y)$$

Salon ja Naantalin alueelle voidaan määrätä vuoden
1975 sokerijuurikas-sadon yhdistetty viljelyvarmuus
kuvien 8 ja 9 diagrammien avulla. Eräitä viljely-
varmuuksia on lisäksi esitetty taulukossa 5. Esimerk-
kinä olleen satovaatimuksen vähintään 25000 kg/ha
ja laatuvaatimuksen vähintään 14 % yhdistetty viljely-
varmuus on Salon alueella n. 73 % ja Naantalin alueella



Kuva 8. Salon sokeritehtaan yhdistetty viljelyvarmuus.



Kuva 9. Juurikassokerin yhdistetty viljelyvarmuus.

Taulukko 5. Eräitä sokerijuurikassadon määrä- ja laatuvaatimuksia vastaavia viljelyvarmuuksia Salon ja Naantalin tehtaiden viljelyalucilla.

| Satovaatimus vähintään kg/ha | Sokeripitoisuus- vaatimus vähin- tään % | Viljely- varmuus % Salo | Viljely- varmuus % Naantali |
|------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| 25 000 | 13.5 | 80 | 91 |
| 30 000 | 13.5 | 53 | 74 |
| 35 000 | 13.5 | 20 | 40 |
| 25 000 | 15.5 | 35 | 48 |
| 30 000 | 15.5 | 23 | 39 |
| 35 000 | 15.5 | 8 | 21 |

la n. 86 %. Kuvien 8 ja 9 käyttökelpoisuutta lisää vielä se, että satoakselilta nähdään suurinpiirtein pelkän satovaatimuksen mukainen viljelyvarmuus ja laatuakselilta pelkän laatuvaatimuksen mukainen viljelyvarmuus (vrt. kuvat 6 ja 7).

Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen lähtöaineistoksi valittiin Salon ja Naantalien sokeritehtaiden viljelyalueilta kootut vuotuiset sokerijuurikassadot ja sokeripitoisuudet. Koska koko sokerijuurikkaanviljely perustuu sopimusviljelyyn, missä jokaisen viljelijän pinta-ala ja siltä vuosittain tuotettu sato tiedetään, aineisto on muihin suomalaisiin viljelyskasveihin verrattuna huomattavan tarkka.

Sokerijuurikkaan hinnoitus pohjautuu vuodesta 1967 lähtien paitsi puhdaspainoon myös juurikkaiden viljelijäkohtaisen sokeripitoisuuden määrittelyyn. Tällöin tehdasalueen vuotuisen kokonaissadon sokeripitoisuus = so. tehtaan viljelijärytöiden keskiarvo. Tämä luku koostuu so-

keripitoisuuksista, jotka edustavat tehtaalle toimitettujen juurikkaiden kuormakohtaisia arvoja. Tutkimuskauden alkupuolella (1953...1966) tehtaan vastaanottaman kokonaissadon keskimääräinen sokeripitoisuus oli sama kuin tuoreleikkeen käyntikausikeskiarvo. Se saatiin tuoreleikkeen kuljetushinnalta useita kertoja päivässä otettujen näytteiden sokeripitoisuuksista. Näin saadun keskisokeripitoisuuden on todettu olevan 0.3 - 0.7 prosenttiyksikköä alhaisemman kuin viljelijänäytteistä lasketun keskiarvon. Erotus johtuu sokerihäviöistä, jotka syntyvät ennen juurikkaiden joutumista tehdasprosessiin.

Naantalin alueella saadaan hieman suurempia sokerijuurikkasatoja kuin Salon alueella. Erotus on lisäksi kasvamaan päin. Tämä johtunee viljelyn leviämisestä Ahvenanmaalle ja saaristoon, jossa sääolot suosivat juurikkaan kasvua ja sokerin kertymistä. Tästä johtunee myös Naantalin alueen hieman suurempi sokeripitoisuus.

Sokerijuurikkasadolle löydettiin sekä Naantalin että Salon alueella nouseva trendi. Se on seuraus viimeisten parinkymmenen vuoden aikana tapahtuneesta sokerijuurikkaan viljelymenetelmien kehityksestä. Keskimääräinen

viljelypinta-ala viljelijää kohden on noussut samanaikaisesti, kun viljely on koneellistunut. Tärkein sato-tason nousuun vaikuttava tekijä on ollut viljelyyn erikoistuminen, jonka myötä vain taitavat ja hyviä satoja saaneet viljelijät ovat jatkaneet sokerijuurikkaan viljelyä. Lisäksi on otettu käyttöön yhä satoisampia lajikkeita.

Sokeripitoisuudelle ei löydetty nousevaa trendiä. Muun muassa sadon sokeripitoisuuden muuttuneesta määritystavasta aiheutunut nousu peittyi uusien viljelymenetelmien alle. Suurin siemenetäisyyksin tapahtuva kylvö yhdessä kemiallisen rikkakasvintorjunnan osittaisen epäonnistumisen ohella alentaa sokeripitoisuutta. Pyrkimystä kylvää sokerijuurikas suoraan kasvutiheyteen seuraa usein epätasainen yksilöväli, ja liian lähellä toisiaan kasvavat juurikkaat haittaavat myös korjuukoneen listinlaitteen toimintaa. Tämä johtaa vajaalistintään, mikä osaltaan laskee sokeripitoisuutta.

Sekä vuotuiset sokerijuurikkasadot että sokeripitoisuudet noudattivat normaalijakautumaa. Syy-yhteys vuotuisten säätöolojen normaalijakautumaan on ilmeinen. Koska säätöoloille ei voida toistaiseksi esittää tarkkaa ennustetta, nii-

tä voidaan käsitellä vain todennäköisyyden pohjalta. Tämän takia myös sokerijuurikkaan sadosta ja sokeripitoisuudesta voidaan esittää arvioita normaalijakautuman perusteella.

Tuntuisi luonnolliselta, että sokerijuurikkaan hehtaarisato ja sokeripitoisuus riippuisivat toisistaan. Esi-merkiksi poikkeuksellisen lämpimänä kesänä voisi odottaa sekä runsasta satoa että korkeaa sokeripitoisuutta. Kylmänä kesänä taas kummatkin ominaisuudet olisivat heikot. Näin ei kuitenkaan havaittu olleen.

Sokerijuurikkaan sato samoin kuin sokeripitoisuuskin määräytyvät kevään aikaisuuden, alkukesän lämpimyyden, sateiden jakautumisen ja kasvukauden loppuosan sääolojen perusteella. Nimenomaan syksyn säät vaikuttavat ratkaisevasti sokeripitoisuuteen. Se voi riippua jopa parin nostohetkeä edeltäneen vuorokauden aurinkoisuudesta. Syksyn säät peittävät täten alleen syy-yhteyden, joka tuntuu biologisesti perustellulta.

Viljelyvarmuus määriteltiin normaalijakautumasta laskettavaksi prosenttiluvuksi. Näin käsite saatiin mitattavaksi suureeksi, jonka laskeminen on ainakin tietokonetta

käyttäen vaivatonta. Viljelyvarmuusprosentin voidaan ajatella ilmoittavan kuinka monena vuonna sadasta jokin tietty sadon määrä- tai laatutaso ylitetään. Sadon määrää tarkasteltaessa tämä ei pidä aivan tarkalleen paikkaansa, sillä samanaikaisesti tulee huomioida satotason nouseva trendi. Lisäksi on huomattava, että viljelyvarmuus ilmoittaa vain todennäköisyyden, millä tietty vaatimus ylitetään. Viljelyvarmuus ei ilmoita, millä todennäköisyydellä esimerkiksi tarkalleen 35 000 kg/ha saadaan. Tämän todennäköisyys on lähes =0.

Sokerijuurikkaan viljelyvarmuudet ovat kauttaaltaan Naantalissa suurempia kuin Salossa. Tämä on luonnollinen seuraus kuvien 2 ja 3 primäriaineistojen eroista. Kun viljelyvarmuusvaatimus on vähäinen, Salon alueella saadaan melkein yhtä korkeita sokeripitoisuuksia kuin Naantalin alueella (taulukko 4). Tämä johtuu sokeripitoisuuksien hajonnasta. Se on Salon alueella suurempi. Todella korkeiden sokeripitoisuuksien saaminen voisi tapahtua Salon ja Naantalin alueilla yhtä usein - tai paremminkin yhtä harvoin.

Yhdistetty viljelyvarmuus yhdistää tiedon sadon määrän ja laadun saavuttamisen varmuudesta yhteen lukuun. Kos-

ka voitiin osoittaa sokerijuurikassadon ja sokeripitoisuuden olevan riippumattomia toisistaan, yhdistetylle viljelyvarmuudelle saatiin johdetuksi yksinkertainen laskutapa. Yhdistetty viljelyvarmuus saadaan sadon määrän ja laadun erillisten viljelyvarmuuksien tulona. Siten se on pienehkö jo kohtuullisillakin sadon määrän- ja laatuvaatimuksilla. Erot Salon ja Naantolin alueiden välillä ovat siitä huolimatta varsin selvät (taulukko 5).

Tässä tutkimuksessa johdettu viljelyvarmuuden määrittäminen on nopea tapa saattaa maan eri osissa vallitsevat sadon määrän ja laadun saamisen varmuuserot toisiinsa verrattaviksi. Seuraavassa vaiheessa viljelyvarmuutta tullaan tarkastelemaan pienaluekohtaisesti ja tutkimaan sen riippuvuutta viljelyalueen maantieteellisestä sijainnista Suomessa.

Kirjallisuusviitteet

LINDGREN, B.W. 1970. Statistical theory. 2. laitos.
521. s. New York.

PAATELA, J. & SUOMELA, H. 1960. Kevätviljojen viljely-
varmuudesta. Maatalous ja koettaminen XIV:
51-62.

