

RIITTA HEINONEN

TURVEMAIDEN LANNOITUSKOEKOIDEN TILASTOLLISESTA ANALYYSISTA

STATISTICAL ANALYSIS OF FERTILIZATION TRIALS ON PEATLANDS

Heinonen, R. 1984: Turvemaiden lannoituskokeiden tilastollisesta analyysistä. (Summary: Statistical analysis of fertilization trials on peatlands). — Suo 35 (4—5):111—113. Helsinki.

The problems associated with the statistical analysis of fertilization experiments on peatlands are treated in the paper. The adjustment of growth results from a drained spruce swamp by means of covariance analysis is used as an example.

R. Heinonen, The Finnish Forest Research Institute, Department of Peatland Forestry, PL 18, 01301 Vantaa 30, Finland.

KOEJÄRJESTELY

Lannoituksen vaikutuksen tarkastelun perustana on kokeen suunnittelu. Tilastollisen päättelyn teko riippuu kokeen suoritustavasta. Kokeen suunnittelu on ensiarvoisen tärkeää, jotta arvioitaessa lannoituksen vaikutusta voidaan päättelyn luotettavuutta mitata.

Turvemaiden lannoituskokeissa yleisesti käytettyjä koejärjestelyjä ovat täydellisesti satunnaistettu koe, satunnaistetut lohkot, faktorikoe ja split-plot koe.

Täydellisesti satunnaistettua koetta käytetään, jos on olemassa yhtenäinen koalue, johon käsittelyt voidaan jakaa satunnaisesti eri koeyksiköiden kesken. Tällaista yhtenäistä koeluetta on useimmiten vaikea löytää. Aineisto voidaan tällöin jakaa lohkoihin ja kukin lohkon sisällä jaetaan käsittelyt satunnaisesti koeyksiköiden kesken. Täydellisesti satunnaistettuun kokeeseen verrattuna saadaan tällä satunnaistetut lohkot -järjestelyllä koevirhettä vähennetyksi sen verran kuin lohkojen välinen vaihtelu selittää tutkittavaa ilmiötä. Lohkottamista kannattaa käyttää, kun on selvästi havaittavissa tekijät, joiden perusteella lohkoihin jako voidaan suorittaa.

Faktorikokeessa tutkitaan samanaikaisesti usean eri tekijän vaikutusta. Yhdellä tekijällä on eri tasoja. Käsittelyjä ovat eri tekijöiden ja tasojen kaikki mahdolliset yhdistelmät. Faktorikokeessa saadaan esiin mm. erilaiset yhdysvaikutukset.

Split-plot koe on faktorikokeen erityistapa. Siinä aineisto jaetaan ensin suurempiin koeyksiköihin ensimmäisen tekijän mukaan, sitten kukin koeyksikkö jaetaan osiin toisen tekijän mukaan. Ensimmäisen tekijän vaikutusta mitattaessa ja tasojen eroa verrattaessa on koeyksiköiden lukumäärä pienempi kuin jälkimmäisen tekijän vaikutusta ja yhdysvaikutusta verrattaessa. Tämä on hyvin yleisesti käytetty järjestely mm. jatkolannoituskokeissa turvemaiilla. Tällöin koe on ensin järjestetty esim. satunnaistettuihin lohkoihin lannoituksen vaikutusta tarkasteltaessa. Myöhemmin on tehty jatkolannoitus, jolloin kukin koeyksikkö on jaettu osiin jatkolannoituskäsittelyn mukaan. Tätä koejärjestelyä voidaan myös käyttää, kun jokin tekijä esim. metsänhoidollinen toimenpide, vaatii muita suurempia koeyksiköitä.

LANNOITUSREAKTION MERKITSEVYYDEN TARKASTELU

Kun koejärjestely on suoritettu asianmukaisesti, voidaan käsittelyjen välisiä eroja verrata toisiinsa tilastollisesti. Tähän käytetään yleisesti varianssianalyysia, jonka avulla saadaan selville, poikkeavatko eri käsittelyt toisistaan. Jos koejärjestelyyn on otettu lohkokattaminen, saadaan myös lohkojen merkitsevyys esille. Käsittelyjen eroja voidaan edelleen testata erilaisilla keskiarvotesteillä, esim. Tukeyn ja Scheffin testeillä.

Varianssianalyysin käytön yhtenä edellytyksenä on, että kokeen olosuhteet ovat käsittelyjen suhteen samanlaiset. Kokeen suunnittelussa voidaan käyttää erilaisia lohkokattamisperusteita, kuten suotyyppejä, puuston ikää tms. Turvemaalla aineisto on kuitenkin usein niin heterogeeninen, että lohkokattaminen ei aina riitä. Tällöin voidaan jokaista koeyksikköä kohti mitata jonkun kvantitatiivisen muuttujan arvo, jonka oletetaan vaikuttavan koeyksikköjen vaihteluun käsittelyjen vaikutusten lisäksi. Puuston lannoitusreaktiota tutkittaessa tällainen mitattava suure saattaa olla esim. puuston kasvu ennen lannoitusta. Käsittelyjen vaikutus tulee kovarianssianalyysin avulla paremmin esille, kun jokaisesta koeyksiköstä voidaan poistaa se vaikutus, joka mitattavalla suurella on siihen ollut. Näin koeyksiköt saadaan samanarvoiseen asemaan käsittelyihin nähden.

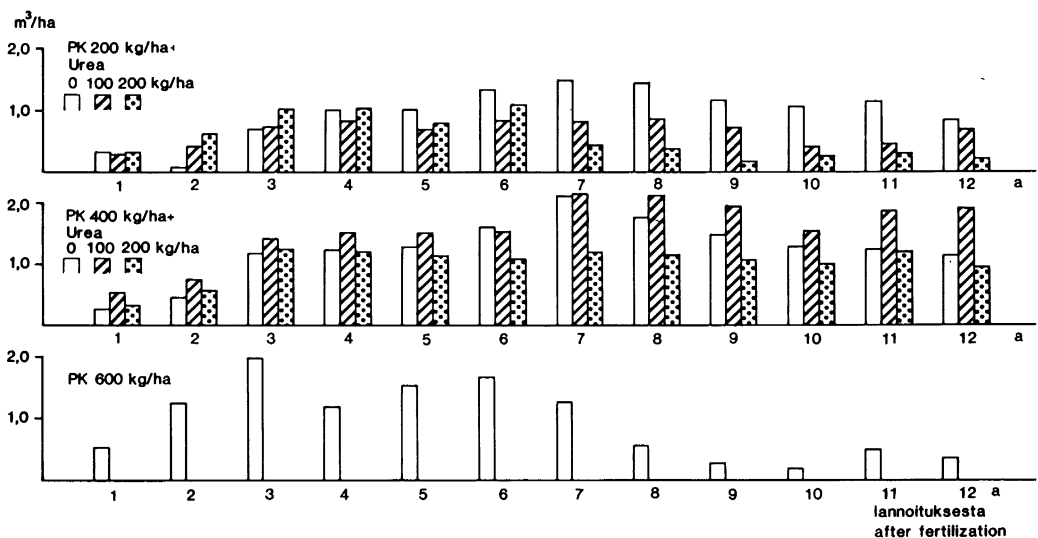
Kovarianssianalyysi on varianssianalyysin yleistys, jossa mallissa luokkamuuttujien (käsittelyt) lisäksi on regressiomuuttujia. Regressi-

omuuttujien on oltava keskenään riippumattomia ja lisäksi niiden on oltava riippumattomia mallin luokkamuuttujista. Käsittelyille saatavat estimaatit ovat ns. kovarianssikorjattuja arvoja, jotka riippuvat regressiomuuttujista (kovariaateista). Kovarianssianalyysimalliin regressiomuuttujia valittaessa on noudatettava tarkkaa harkintaa, sillä virheellinen malli saattaa antaa harhaanjohtavia tuloksia.

Turvemaiden lannoituskokeiden tuloksia käsiteltäessä on kovarianssianalyysi luultavasti yleisimmin käytetty tilastollinen menetelmä. Tähän on päädytty siksi, että turvemaiden lannoituskokeet ovat niin laajoja, että homogeenisten koealojen löytäminen on vaikeaa. Lohkoihin järjestämistä käytetään yleisesti, mutta koealoja ei silti saada tällä järjestelyllä riittävän samanlaisiksi. Lannoituskokeissa tarkastellaan mm. puuston kasvun reaktiota lannoitukseen. Jos eri koealojen puuston kasvu lannoitushetkellä on hyvin heterogeeninen, ei varianssianalyysin tuloksista pystytä päättelemään, johtuvatko kasvuerot lannoituksesta vai siitä, että koealojen puuston kasvussa on jo ennen lannoitusta ollut eroja. Kovarianssianalyysissä pyritään saamaan lähtötilanne regressiomuuttujien avulla tasaiseksi, jolloin käsittelyjen vaikutukset näkyvät selvemmin.

TULOKSIA LANNOITUKSEN VAIKUTUKSESTA KORPIKUUSIKOISSA

Ojitettujen korpjen lannoitusta koskevia tu-



Kuva 1. Orivesi. Kovarianssikorjatut kasvunlisäykset.

Fig 1. Orivesi. Adjusted increases in volume growth.

loksia on julkaistu kahdesta Metsäntutkimuslaitoksen ja metsähallituksen yhteistyönä vuonna 1969 perustamasta lannoituskokeesta, joista toinen sijaitsee Orivedellä ja toinen Kuhmalahdella (Paavilainen 1974). Nyt esitettävät tulokset on saatu samojen kokeiden uusintamittauksista (Heinonen ym. 1984).

Oriveden Vuorentaustan korpi ojitetiin noin v. 1925 ja ojitus täydennettiin v. 1967. Alkuperäinen suotyyppi oli pääasiassa mustikkakorpi, joskin vaihtelua esiintyi. Lannoitus suoritettiin 12. 5. 1969. Puusto oli pääosin uudistuskypsyden saavuttanutta. Puuston keski-ikä lannoitushetkellä oli n. 70 vuotta.

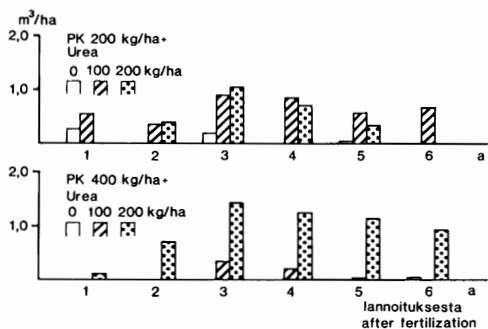
Kuhmalahden Lakeissuo ojitetiin vuosina 1958—1959. Suotyyppi oli suurimmaksi osaksi mustikkakorpi, osaksi myös rämeinen pallasarakorpi. Lannoitus suoritettiin 13. 5. 1969. Puusto oli harvennusikäistä kuusikkoa. Puuston keski-ikä lannoitushetkellä oli noin 40 vuotta.

Kummallakin alueella oli seuraavat kahdeksan lannoituskäsittelyä:

lannoitetta, kg/ha	urea	suometsien PK-lannos
0	0	
0	200	
100	200	
200	200	
0	400	
100	400	
200	400	
0	600	

Koejärjestelynä käytettiin satunnaistettuja lohkoja kolmella toistolla.

Puusto mitattiin syksyllä 1980. Puuston tilavuus, kasvu ym. tunnuksat laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmalla KPL VAX/780 tietokonetta käyttäen. Kasvureaktiota tarkasteltiin vain kuusen osalta.



Kuva 2. Kuhmalahdi. Kovarianssikorjatut kasvunlisäykset.

Fig. 2. Kuhmalahdi. Adjusted increases in volume growth.

Lannoituksen vaikutusta puuston tilavuuskasvuun selitettiin kovarianssianalyysillä, jolla tasoitettiin lannoitushetkellä havaittuja puuston kasvueroja. Selitettävänä muuttujina olivat kuusen vuotuinen tilavuuskasvu vuosina 1969—1980. Regressiomuuttujina olivat:

x_1 = puuston tilavuuskasvu ennen lannoitusta

x_2 = puuston tilavuus lannoitettaessa (v. 69)

x_3 = kuusen tilavuuden osuus koko puuston tilavuudesta lannoitettaessa

$x_4 = x_1^2$

$x_5 = x_2^2$

$x_6 = x_3^2$

Erilaisten regressiomuuttujayhdistelmien kanssa käytettiin luokkamuuttujina lannoitusta ja lohkotusta. Lopullisen mallin valinnassa oli tavoitteena, että kasvua selitettäisiin kaikissa tapauksissa samoilla muuttujilla ja että mallin jäännöstermi olisi normaalisti jakautunut odotusarvolla nolla.

Näin päädyttiin molemmilla paikkakunnilla malliin, jossa luokkamuuttujana oli lannoitus ja regressiomuuttujina kuusen tilavuuskasvu ennen lannoitusta (x_1) ja kuusen tilavuuden prosenttiosuus koko puustosta lannoitettaessa (x_3).

Puuston kovarianssikorjatut kasvunlisäykset esitetään Oriveden osalta kuvassa 1 ja Kuhmalahdella kuvassa 2. Jo pelkkä PK-lannoitus lisäsi puuston tilavuuskasvua Orivedellä ja lannoitusvaikutuksen voidaan katsoa kestäneen koko mittausjakson eli 12 vuotta. Kuhmalahdella kasvunlisäys jäi heikoksi ilman tyyppä ja lannoitus lisäsi puuston kasvua vain ensimmäisen kuuden vuoden aikana.

KIRJALLISUUS

Paavilainen, E. 1975: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa. (Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat.) — *Folia Forestalia* 239: 1—10.

Heinonen, R., Hämäläinen, Y., Paavilainen, E. & Salmi, O. 1984: Tuloksia ojitetun korpikuusikoiden lannoituksesta. — *Käsikirjoitus*.