

# KASVINSUOJELUAINEIDEN KÄYTÖSTÄ AIHEUTUVIEN YMPÄRISTÖRISKIEN VÄHENTÄMINEN

Antti Lavonen,  
Helsingin yliopisto,  
maa- ja kotitalousteknologian laitos

Kolmevuotisissa laboratorio- ja kenttäkokeissa tutkittiin puominkorkeuden, ruiskutuspaineen ja suukekoon vaikutusta torjunta-aineen kohdentumiseen erilaisissa kasvusto- ja ilmasto-olosuhteissa. Puominkorkeuden ja paineen alentamisella pystyttiin lisäämään torjunta-aineen pidättymistä maahan matalassa kasvustossa, todennäköisesti kulkeuman määrää vähentäen. Tunkeutuvuutta korkean kasvuston juurelle paransi erityisesti puominkorkeuden alentaminen. Suukekoon pienentäminen ja puominkorkeuden alentaminen paransi torjunta-aineen peittoastetta kasvuston yläosissa.

## Johdanto

Kasvinsuojeluruiskutusten suurin epäkohta on nykyisin se, että ruiskutus useimmiten tehoaa torjuntakohteeseen, mutta ruiskutuksen hyötysuhde on huono. Arvioiden mukaan noin 90 % torjunta-aineesta ei koskaan saavuta torjuntakohtettaan. Hukkaan joutuva määrä vaihtelee kohteen ja menetelmän mukaan ja voi olla lähes 100 % (Brandt 1987, Pimentel ja Levitan 1986).

Syinä huonoon hyötysuhteeseen voidaan pitää mm. ruiskujen heikkoa kuntoa. Huono levitystasaisuus pakottaa käyttämään biologista tarvetta suurempia annoksia. Suukkeet kuluvat käytössä, jolloin luotettaessa vain suutintaulukoihin voidaan käyttää 20–25 % yliannosta. Painemittareiden ja paineensäätimien huono kunto vaikeuttavat ainemäärän säätämistä (Hagenvall 1978, Rd 1979, Lavonen 1988). Huolimatta vuosikymmenien työstä ei ole pystytty kehittämään systeemiä, mikä olisi ylivoimainen perinteiseen viuhkasuuttimin varustettuun kasvinsuojeluruiskuun verrattuna (Skuterud ym. 1988, Cooke ym. 1986). Ruiskuja ei myöskään käytetä tarkasti. Ruiskujen säätö jää useimmilta tekemättä, ja huolimaton sekä väärin tehty huolto on tärkeimpiä ruiskujen huonon kunnan syistä.

Ruiskutustekniikan säätämistä vaikeuttaa se, että puuttuu tarkka, fysikaalisiin termein ilmaistava tieto siitä, kuinka torjunta-aine tulisi kohdentaa. Kullekin torjunta-aineen ja kasvilajin yhdistelmälle on optimimaaliset ruiskutusparametrit, jotka vaihtelevat kasvuston kehittyessä ja ilmasto-olosuhteiden muuttuessa (Bengtsson 1961, Hislop 1987). Lisäksi puuttuu tietoa siitä, kuinka ruiskutustekniset tekijät vaikuttavat torjunta-aineen kohdentumiseen, ja kuinka laajasti näitä tekijöitä voidaan säätää kohdentumisen parantamiseksi ilman ympäristön kannalta haitallisia ilmiöitä (Göhlich ja Westphal 1991). Tulevaisuuden tavoitteena oleva ruiskutustekniikan tarpeen mukainen säätö vaatii ajon aikaisen paikannus- ja ohjausjärjestelmän sekä menetelmän jatkuvaan ruiskutustuloksen mittaukseen. Viimeksi mainitun menetelmän kehitystyö on vasta aluillaan (Salyani ja Serdynski 1990).

## Kasvinsuojeluruiskutus ja ympäristö

Vuodesta 1953, jolloin torjunta-aineiden myyntiä maassamme alettiin tilastoida, torjunta-aineiden käyttömäärä on kasvanut tasaisesti. Käytön huippu 2600 t saavutettiin vuonna 1980, minkä jälkeen määrät ovat tasaantuneet vuosittaiseen 2000 t:n käyttöön. Maatalouden rikkakasvintorjuntaan käytettävät herbisidit ovat olleet 75–81 %, tuhoeläinten torjunta-aineet 6–9 % ja kasvitautien torjunta-aineet 4–8 % torjunta-aineiden kokonaiskäyttömäärästä 1980-luvulla (Markkula ym. 1990). Viljeltyä peltohehtaaria kohti torjunta-aineita käytetään Suomessa noin 0,8 kg, joista herbisidejä 0,7 kg/ha. Torjunta-aineiden kokonaiskäyttömäärä on 32 % ja herbisidien käyttömäärä 50 % OECD-maiden keskiarvosta (Anon. 1989).

Kulkeuman suuruuteen vaikuttavat ruiskutustekniset tekijät, ruiskutusnesteen fysikaaliset ominaisuudet, kasvuston suodatusvaikutus ja ilmastotekijät (Göhlich ym. 1979). Arviot kulkeuman määrästä liikkuvat tuulen nopeudesta ja käytetystä tekniikasta riippuen välillä 2–37 % annoksesta (Courshee 1959, Maybank ym. 1974, Nordby ja Skuterud 1975).

Kasvustossa tapahtuvien hävikkien suuruuteen vaikuttaa torjuntakohde, minkä ratkaisevat torjunta-aineen tyyppi ja torjunnan tarkoitus. Rikkakasviruiskutuksessa lehtivaikutteisilla aineilla hukaksi katsotaan viljaan ja maahan joutuva osuus. Avoimessa kasvustossa maahan joutuva osuus voi olla merkittävä. Tällaisessa tapauksessa kasvustohävikit ovat useimmiten moninkertaisia kulkeumaan verrattuna. Insektisidejä ja fungisidejä käytettäessä torjuntakohde on koko kasvin pinta. Maahan hukkaan joutuva osuus pienenee kasvuston lehtialan kasvaessa ollen tiheässä kasvustossa 4–10 % (Bryant ja Courshee 1985, s. 204–205).

Suppeasti katsottuna torjuntakohde on solutasolla, esim. tietty entsyymireaktio (Hislop 1987). Suuria tappioita tapahtuu torjuntakohteen pinnan ja kemiallisen reaktion tapahtumapaikan välillä (Bayer ja Lumb 1973).

## Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin minimoida kasvinsuojeluruiskutuksista aiheutuvia ympäristövaikutuksia siten, että luontoon pääsevät torjunta-ainemäärät ovat mahdollisimman pienet torjuntatuloksen vaarantumatta.

Osatavoitteita ovat:

- Selvittää torjunta-aineiden päätyminen kohteeseensa erilaisissa käyttö- ja kasvusto-olosuhteissa
- Kehittää käyttöohjeisto olemassa oleville kasvinsuojeluruiskuille
- Kehittää käytäntöön soveltuva tehokas ja ympäristöystävällinen ruiskutusmenetelmä ja sen käyttöohjeet

Tutkimus rajattiin koskemaan hydraulisilla suuttimilla varustettuja traktoriruiskuja. Tutkimuksessa selvitettiin erittäin alhaisen puominkorkeuden vaikutusta kohdentumiseen. Kirjallisuuden perusteella puominkorkeuden alentaminen pienentää kulkeumaa ja parantaa tunkeutuvuutta. Lyhyellä matkalla pisarat eivät ehdi menettää alkuperäistä alaspäin suuntautunutta nopeuttaan yhtä paljon kuin normaalia puominkorkeutta käytettäessä, jolloin niiden keräystehokkuus kasvustossa kasvaa (Spillman 1987). Lisäksi pisarat ovat lyhyemmän aikaa alttiina haihtumiselle. Levitystasaisuuden takaamiseksi käytettiin tavallisen 50 cm suutinvälin sijasta 25 cm suutinväliä. Sen

pitäisi tasata torjunta-aineen tunkeutuvuutta kasvustossa suutinten alla ja välissä. Menetelmää verrattiin tavalliseen puomiratkaisuun. Kokeilussa matalan puominkorkeuden menetelmässä käytettiin kaksi kertaa pienempää suutinta kuin tavallisessa menetelmässä, jotta nestemäärä pysyisi samana. Paineen vaikutus kohdentumiseen selvitettiin laboratorionkokeissa.

Vuosien 1989–91 aikana tehtiin kuusi erillistä koetta (LIITE 1. Taulukko 1). Vuoden 1989 kokeet ja vuoden 1991 matalan kasvuton koe tehtiin kasvuston ollessa rikkakasviruiskutusvaiheessa ja loput kokeet tauti- tai tuhoeläinruiskutusvaiheessa. Torjunta-ainetta käytettiin vain 1989 kenttäkokeessa, jossa selvitettiin pienannosherbisidin teho rypsiin.

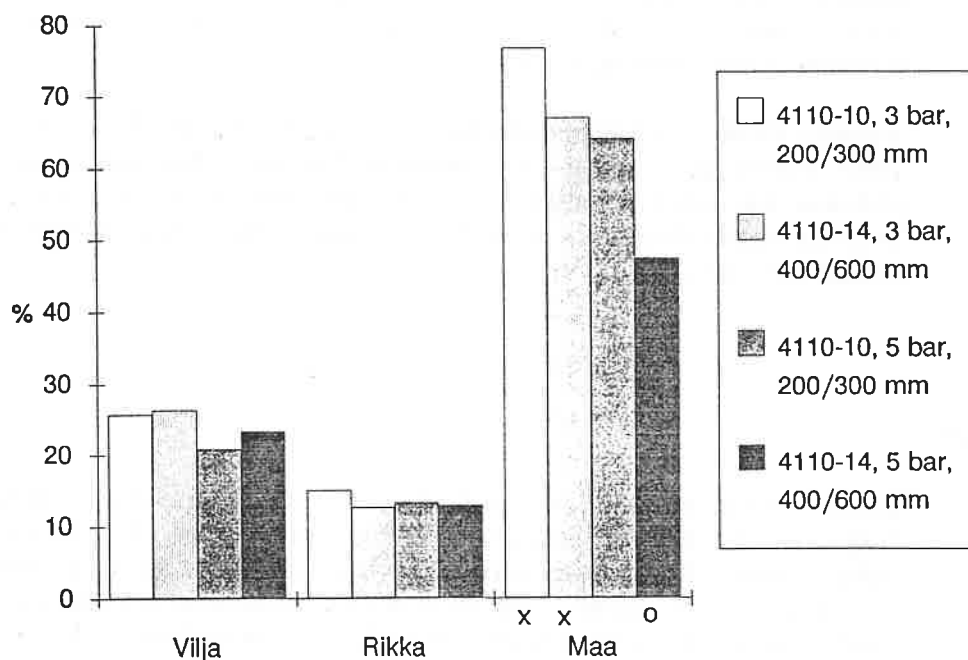
## Tulokset

Kasvuston vahvistuessa torjunta-aineesta maahan joutuva osuus vähenee (taulukko 1). Tämän hävikin osuus rikkakasviruiskutuksessa näyttäisi olevan noin 2/3 kasvustoon tulleesta ainemäärästä. Lisäksi rikkakasviruiskutuksessa torjunta-aineesta joutuu noin 1/4 viljaan. Tauti- tai tuholaisruiskutuksessa korkeassa, tiheässä kasvustossa hävikit maahan ovat alle 1/10 kasvustoon tulleesta ainemäärästä. Harvassa ja matalassa kasvustossa määrä voi kuitenkin olla 1/3.

Taulukko 1. Ruiskutusnesteen jakautuminen kasvustossa, ainemäärä suhteessa kerättyyn kokonaisainemäärään, vuosien 1989–90 kokeet.

Vuosi	Koe	Kasvuston korkeus cm	Ainemäärä kasvuston eri osissa, % kerätystä			
			Vilja yläosa	Vilja alaosa	Rikkakasvi	Maa
Rikkakasviruiskutus			Vilja yläosa	Vilja alaosa	Rikkakasvi	Maa
1989	Laboratorio	18	16	8	13	62
1989	Kenttä	10	3	22	9	66
Tautiruiskutus			Vilja yläosa	Vilja keskiosa	Alaosa	Maa
1990	Laboratorio	46	23	31	15	30
1990	Kenttä	89	51	35	6	7

Molemmilla suukkeilla 3 bar paineella maahan joutui enemmän torjunta-ainetta suhteessa annokseen kuin suurella suukkeella 5 bar paineella vuoden 1989 laboratoriossa tehdyssä rikkakasviruiskutuskokeessa (Kuva 1). Saman vuoden kenttäkokeessa pienempi suuke 200 mm puominkorkeudella antoi maahan merkitsevästi enemmän torjunta-ainetta suhteessa annokseen kuin suuri suuke 400 tai 600 mm puominkorkeudella.



Kuva 1. Pidättyminen % annoksesta, laboratoriokoe 1989, eri suuttimet ja paineet. Eri merkeillä merkityt poikkeavat toisistaan 5 % riskillä.

Kenttäkokeessa rikkakasveihin tuli merkitsevästi enemmän torjunta-ainetta suhteessa annokseen pienellä kuin suurella suukkeella. Samoin pieni suuke 200 mm puominkorkeudella oli tehokkaampi kohdistamaan torjunta-ainetta rikkakasveihin kuin suuri suuke ja 600 mm puominkorkeus. Torjunta-ainetta tuli merkitsevästi enemmän kasvustoon ja maahan 200 mm puominkorkeudella pienellä suukkeella kuin 600 mm puominkorkeudella suurella suukkeella vuoden 1989 kenttäkokeessa. Saman vuoden laboratoriokokeessa paineen alentaminen 5 bar:sta 3 bar:iin lisäsi myös kerättyä ainemäärää.

Vuoden 1990 tautiruisikutuskokeissa suuri suuke antoi paremman tunkeutuvuuden kasvuston alaosaan (kenttäkoe) ja maahan (laboratoriokoe) kuin pieni. Kenttäkokeessa suuri suuke alhaisemmalla 400 mm puominkorkeudella oli muita tehokkaampi tunkeutumaan kasvuston alaosaan mitattuna osuutena kerätystä ainemäärästä. Vuoden 1991 korkean kasvuston laboratoriokokeessa puominkorkeuden alentaminen paransi tunkeutumista kasvuston alaosaan ja maahan.

Korkean kasvuston kenttäkokeessa 1990 peittoaste oli kasvuston yläosassa pieniä suukkeita käytettäessä suurempi kuin suuria suukkeita käytettäessä. Ero pieneni kasvustossa syvälle mentäessä, mutta oli merkitsevä vielä kasvuston alaosassa. Pienenevä ero johtuu luultavasti suuren suukkeen suurempien pisaroiden paremmasta tunkeutumiskyvystä. Puominkorkeus 600 mm suurilla suukkeilla antoi heikomman peiton kasvuston yläosaan suhteessa kaikkiin muihin ja keskiosaan suhteessa pieniin suukkeisiin.

## Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

### Rikkakasviruiskutus

Bengtsson (1961) totesi kokeissaan, että pisarakoon ja ruiskutusnesteen pintajännityksen pienentäminen parantaa pisarasuihkun pidättymistä vaikeasti kostuville rikkakasveille. Vuoden 1989 kenttäkokeesta saatu tulos viittaa tähän suuntaan: pienempi suuke lisää pidättyvyyttä rikkakasveihin. Samaan suuntaan vaikuttaa myös alhainen puominkorkeus. Sen sijaan paineen nostamisella saatava pienempi pisarakoko ei vaikuttanut pidättyvyyteen tehdyissä kokeissa. Lehtivaikutteisilla rikkakasvintorjunta-aineilla kannattaa tulosten perusteella käyttää mahdollisimman alhaista puominkorkeutta (400 mm) ja ruiskutuspainetta (2 bar). Samansuuntaiseen tulokseen päätyivät myös Skuterud ym. (1988).

Maavaikutteisen torjunta-aineen kohdentuminen maahan paranee alentamalla puominkorkeutta ja painetta. Tällöin pisarakoko ei ole tärkeä torjunta-aineen tehon kannalta. Lehti- ja maavaikutteisesta kasvustoon tulevasta torjunta-aineesta hukkaan joutuu vain viljakasvustoon päätyvä osuus. Matalassa kasvustossa puominkorkeudella ja ruiskutuspainella voidaan vaikuttaa kulkeuman määrään voimakkaastikin. Samansuuntaisia tuloksia saivat Nordby ja Skuterud (1975). Valittaessa hyvin alhainen puominkorkeus ja ruiskutusaine lisätään kuitenkin maahan joutuvan torjunta-aineen määrää. Torjunta-aineen ominaisuuksien mukaan olisi arvioitava, kumpi on suurempi riski ympäristön kannalta, kulkeuma vai maahan joutuva osuus. Tähän arviointiin vaikuttavat torjunta-aineen (huuhtoutumisherkkyys, hajoamisnopeus, vahingollisuus ympäröiville kasvustoille) lisäksi sääolosuhteet ja herkkien kasvustojen läheisyys. Kulkeuman välttämiseksi rikkakasviruiskutuksessa voidaan käyttää 1,5 bar painetta, 40 cm puominkorkeutta ja 250 l/ha nestemäärää.

Puomi on pidettävä vakaana 200–300 mm puominkorkeudessa, koska pienikin pystysuuntainen puomin heilunta, erityisesti alaspäin, heikentää levitystasaisuutta voimakkaasti. Normaali puominkorkeus 400–500 mm sallii kaksinkertaisen vaihtelun puominkorkeudessa. Suutinten maahan iskeytymisen vaara kasvaa puomia alennettaessa.

Rikkakasviruiskutuksissa 200–300 mm puominkorkeuksien käyttäminen vaatii puomin rakenteen uudistamista. Ruotsissa on kehitetty esipuomia yhdistämällä se kiinteäksi osaksi puomia. Esipuomina toimiva kelkka, johon suuttimet on kiinnitetty, kulkee maata vasten ja suuttimet on suunnattu takaviistoon. Suutinten korkeus pysyy vakaana hyvin lähellä maan pintaa (Hagenvall 1990).

Kokeiden perusteella vaikuttaa siltä, että herbisidien käyttömääriä voitaisiin alentaa 25 % käytettäessä tutkittua alhaisen puominkorkeuden menetelmää optimaalisissa olosuhteissa. Muiden torjunta-aineiden käyttömäärien alentamismahdollisuudet vaatisivat lisäselvitystä.

### Tauti- ja tuhoeläinruiskutus

Kerätty kokonaisainemäärä ei vaihdellut merkitsevästi menetelmien välillä vuoden 1990 kenttäkokeessa. Ruiskutustekniikka ei vaikuta kulkeumaan korkeassa kasvustossa yhtä paljon kuin matalassa kasvustossa. Tuulen nopeus vuoden 1990 kokeessa oli kyllä huomattavasti alhaisempi kuin edellisen vuoden kokeessa.

Vuosien 1990 ja 1991 kokeissa ruiskutusnesteen tunkeutuvuus parani alennettaessa puominkorkeutta. Kohteen ja suuttimen pieni etäisyys estää pisaroiden liiallisen hidastumisen. Suuremmilla pisaroilla on enemmän liike-energiaa tunkeutua korkeaan kasvustoon. Hyvää tunkeutuvuutta vaativissa tauti- tai tuhoeläinruiskutuksissa pitäisi käyttää suurta suuketta ja nestemäärää (vähintään 200 l/ha) ja pientä puominkorkeutta (40 cm).

Torjunta-aineen biologinen teho on sitä parempi mitä tasaisemmin aine kasvustoon jakautuu (Cooke ym. 1986). Nyt tehdyissä kokeissa ei ollut havaittavissa selkeitä, johdonmukaisia eroja annoksen tasaisuudessa käytettyjen ruiskutustekniikoiden välillä.

Alhainen puominkorkeus ja pieni pisarakoko näyttäisi antavan hyvän peiton kasvuston yläosaan. Nestemäärä oli kaikilla käsittelyillä tässä kokeessa lähes sama. Saman nestemäärän pitäisi teoriassakin antaa parempi peittävyys, kun se jaetaan pieniksi pisaroiksi. Hyvää ylälehtien peittoastetta tarvitsevilla tautiruiskutuksissa, joissa tunkeutuvuus ei ole tarpeen, tulisi käyttää pientä suuketta (150 l/ha) ja puominkorkeutta (40 cm).

Kirjallisuuden ja omien tulosten perusteella voidaan eri tyyppisten hävikkien päätellä olevan eri ruiskutustehtävissä viljalla suuruusluokaltaan seuraavan taulukon mukaisia (ei sisällä hävikkejä pisaran saavuttua kasvin lehdelle):

	Kulkeuma % annoksesta	Kasvustohävikit % annoksesta
Rikkakasviruiskutus, lehti-vaikutteinen torjunta-aine	2-37	50-75 (maa), 20-30 (vilja)
Rikkakasviruiskutus, maavaikutteinen torj.aine	2-37	20-30 (vilja)
Tauti- ja tuhoeläinruiskutus, sisävaikutteinen torj.aine	2-37	4-30 (maa)
Tauti- ja tuhoeläinruiskutus, kosketusvaikutteinen torj.aine	2-37	4-30 (maa), lisäksi epätasaisesta peitosta aiheutuvat hävikit
Ruiskutustekniikan keinot hävikkien vähentämiseksi ja taso, mikä on saavutettavissa hydraulisten suutinten oikealla käytöllä	puominkorkeuden, ruiskutuspaineen ja ajonopeuden alentaminen, suurempi suukekoko, 1-6	<i>peittoasteen parantaminen:</i> pienempi suukekoko ja puominkorkeus, 10-20 % parannus peitossa <i>hävikit maahan:</i> nestemäärän alentaminen, pisarakoon pienentäminen, 10-30 %:n hävikkien pienentyminen

Kulkeuma = torjunta-alueen ulkopuolelle joutuva osuus torjunta-aineesta,

Kasvustohävikit = torjunta-aine, mikä ei pidäy kohteeseen tai mitä kohde ei käytä hyväkseen

Tutkimusta ruiskutustekniikoiden tekijöiden vaikutuksesta eri tyyppisten torjunta-aineiden määrälliseen ja laadulliseen jakautumiseen ja biologiseen tehoon tulee edelleen jatkaa. Integroidun torjunnan kehittämisessä tarvitaan kemiallisten menetelmien soveltamista muiden torjuntamenetelmien yhteyteen. Ruiskutustekniikka on saatava sopeutuvasti säätyämään eri ruiskutustarkoituksiin ja -tarpeisiin. Annostelulaitteiden, paikantamis- ja nopeiden torjuntatuloksen mittausten kehittämiseksi tarvitaan tutkimusta.

## Yhteenveto

Kolmevuotisissa laboratorio- ja kenttäkokeissa tutkittiin puominkorkeuden, ruiskutuspaineen ja suukekoon vaikutusta torjunta-aineen kohdentumiseen erilaisissa kasvusto- ja ilmasto-olosuhteissa. Näistä tekijöistä puominkorkeus osoittautui tärkeimmäksi pyrittäessä vähentämään torjunta-aineiden käytöstä aiheutuvaa ympäristöriskiä. Torjunta-aineesta kasvustoon päätyvää osuutta voidaan kasvattaa alentamalla puominkorkeutta. Samalla paranee ruiskutusnesteen tunkeutuminen kasvuston juurelle. Alhaisen puominkorkeuden menetelmä edellyttää uusien puominrakenteiden kehittämistä. Ruiskutuspaineen alentamisella voidaan vähentää kulkeuman riskiä. Pienen suukekoon aikaansaamat pienet pisarat yhdessä alhaisen puominkorkeuden kanssa parantavat torjunta-aineen peittoastetta kasvuston yläosassa.

## Kirjallisuus

- Anon. 1989. OECD Environmental data 1989. 365 p. Pariisi.
- Bayer, D.E. and Lumb, J.M. 1973. Penetration and translocation of herbicides. Pesticide formulations, ed. Van Valkenburg, W. pp. 387-439. New York.
- Bengtsson, A. 1961. Droppstorlekens inflytande p ogräsmedlens verkan. Växtodling. Skrifter frn inst. växtodl.lära vid kungl. lantbr.högsk. 17: 1-149.
- Brandt, J. 1990. Luftassisterad besprutning- ett exempel i Hardi Twin. 31:a svenska växtskyddskonferensen. pp. 91-106.
- Bryant, J.E. and Courshee, R.J. 1985. The effect of volume of application from hydraulic nozzles on the partitioning of a pesticide spray in a cereal canopy. Symposium on Application and Biology. British Crop Protection Council. Monograph 28: 201-210.
- Cooke, B.K., Hislop, E.C., Herrington, P.J., Western, N.M., Jones, K.G., Woodley, S.E. and Chapple, A.C. 1986. Physical, chemical and biological appraisal of alternative spray techniques in cereals. Crop Protection 5: 155-164.
- Courshee, R.J. 1959. Investigations on Spray Drift. Part II: The Occurance of Drift. J. agr. Engng. Res. 4: 229-241.
- Göhlich, H. and Westphal, O. 1991. Zur Verminderung von Pflanzenschutzmittelverlusten. Landtechnik 3: 113-116.
- Göhlich, H., Hosseinipour, M. and Oheimb, R.v. 1979. Einfluss klimatischer und gerätetechnischer Faktoren auf die Drift im Pflanzenschutz. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzschutzd. 31 (1): 1-9.
- Hagenvall, H. 1978. Konditiontest av ogrässprutor. SLU. Inst. Arb.met. och tekn. Rapp. 44: 1-38. 8 bil.
- Hagenvall, H. 1990. Droppar på drift-vindavdrift vid besprutning. SLU. Aktuellt från lantbr. universitet 389: 1-31. Uppsala.
- Hislop, E.C. 1987. Requirements for effective and effecient pesticide application. Rational pesticide use. Proceedings of the Ninth Long Ashton Symposium, ed. Brent, K.J. and Atkin, R.K. pp. 53-71. Cambridge.

- Lavonen, A. 1988. Kasvinsuojeluruiskujen kunto. Pro gradu-työ. Hgin yliop. maatal.tekn.l. 111 p.,15 liit.
- Markkula M., Tiittanen, K. and Vasarainen, A. 1990. Torjunta-aineet maa- ja metsätaloudessa 1953-1987. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 2: 1-58. Jokioinen.
- Maybank, J., Yoshida, K. and Grover, R. 1974. Droplet size spectra, drift potential, and ground deposition pattern of herbicide sprays. *Can. J. Plant Sci.* 54: 541-546.
- Nordby, A. and Skuterud, R. 1975. The effects of boom height, working pressure and wind speed on spray drift. *Weed Research* 14: 385-395.
- Pimentel, D. and Levitan, L. 1986. Pesticides: Amounts Applied and Amounts Reaching Pests. *BioScience* (36) 2: 86-90.
- Rød, P. 1979. Tilstanden og arbeidsevnen til åkerspøtjfer i praksis. Norges landbr.høgskole. Inst. for maskinlare. 59 p.
- Salyani, M. and Serdynski, J. 1990. Development of a Sensor for Spray Deposition Assessment. *Transactions of the ASAE* 33 (5): 1464-1468.
- Skuterud, R., Nordby, A. and Tyldum, A. 1988. Effects of application methods, spray volumes, pressures and herbicide rates on weed control in spring cereals. *Crop Protection* 7: 303-308.
- Spillman, J.J. 1987. The efficient aerial application of sprays. Rational pesticide use. *Proceedings of the Ninth Long Ashton Symposium*, ed. Brent, K.J. and Atkin, R.K. pp. 107-120. Cambridge.



## Liite 1. Aineiston hankinta ja käsittely

Vuosien 1989–91 aikana tehtiin kuusi erillistä koetta (taulukko 1). Vuoden 1989 kokeet ja vuoden 1991 matalan kasvuston koe tehtiin kasvuston ollessa rikkakasvi-ruiskutusvaiheessa ja loput kokeet korkeammassa kasvustossa (tauti- tai tuhoeläinruiskutus). Torjunta-ainetta käytettiin vain 1989 kenttäkokeessa, jossa selvitettiin pienannosherbisidin biologinen teho rypsiin.

Taulukko 1. Kokeet vuosina 1989–91.

Vuosi	Kokeen tyyppi	Kasvusto	Torjunta- /merkintäaine
1989	Laboratorio	Ohra, 4 lehteä, kork. 18 cm, 315 kpl/m <sup>2</sup> + rikkasinappi sirkkalehdet, 315 kp/m <sup>2</sup>	- /Helios-emulsio (10 g/l) 1,5 ml/l
1989	Kenttä	Ruis, 4-5 lehteä, kork. 10 cm, 354 kpl/m <sup>2</sup> + rypsi, 61 kpl/m <sup>2</sup>	Express 2,5 g/ha / Helios-emulsio (10 g/l) 1,5 ml/l
1990	Laboratorio	Ohra, kehitysaste 9.0, kork. 46 cm, 570 kpl/m <sup>2</sup>	- /Helios-emulsio (10 g/l) 4,5 ml/l
1990	Kenttä	Ohra, kehitysaste 10.1-10.5, kork. 89 cm, 455 kpl/m <sup>2</sup>	- /Helios-emulsio (10 g/l) 4,5 ml/l
1991	Laboratorio	Matala tekokasvusto LAI 1.3, kork. 20 cm, 500 kpl/cm <sup>2</sup>	- /NaCl 200 g/l
1991	Laboratorio	Korkea tekokasvusto LAI 6.1, kork. 50 cm, 500 kpl/m <sup>2</sup>	- /NaCl 200 g/l

Taulukko 2. Kokeiden aikaiset olosuhteet.

Koe	Lämpötila C-astetta	Suhteellinen kosteus %	Tuulen nopeus m/s
Laboratorio 1989	19,8-20,4	72-75	-
Kenttä 1989	7,4-8,1	50-52	2,5-4,1
Laboratorio 1990	21,0-21,4	75-81	-
Kenttä 1990	20,2-22,4	45-50	0,7-3,2
Laboratorio 1991 M	18,2-20,1	50-65	-
Laboratorio 1991 K	19,5-23,3	52-63	-

Laboratoriokokeissa käytettiin mittausrataa. Se koostuu kiskoilla hydraulimoottorin avulla liikkuvasta vaunusta, johon ruiskupuomi on kiinnitetty. Kenttäkokeissa käytettiin itsekulkevaa, hydraulimoottorien avulla liikkuvaa ruiskua. Laitteilla pystytään säätämään ja tarkkailemaan kaikkia tarvittavia ruiskutusteknisiä parametreja.

Vuosien 1989 ja 1990 laboratoriokokeissa käytettiin taulukon 3 mukaisista yhdistelmistä 3 ja 5 bar ruiskutuspaineen yhdistelmiä, samojen vuosien kenttäkokeessa vain 3 bar yhdistelmiä ja vuoden 1991 kokeissa kaikkia yhdistelmiä.

Taulukko 3. Ruiskutusteknisten tekijöiden yhdistelmät vuosien 1989–91 kokeissa.

Suutin	Paine bar	Tuotto l/min	Suut- tinväli mm	Puomink orkeus mm	Ajono peus m/s	Neste määrä l/ha	Lev. tas. v.k.% *	VMD $\mu\text{m}$	Vol.% < 100 $\mu\text{m}$
4110-10	2,0	0,378	250	200/300	1,5	168	10,8/14,9	257	0,7
4110-14	2,0	0,723	500	400/600	1,5	161	6,7/10,7	293	0,5
4110-10	3,0	0,453	250	200/300	1,5	201	6,8/28,0	234	1,0
4110-14	3,0	0,881	500	400/600	1,5	196	5,9/14,6	274	0,7
4110-10	5,0	0,591	250	200/300	1,5	263	12,8/28,0	231	1,5
4110-14	5,0	1,149	500	400/600	1,5	255	6,3/15,7	264	1,1

\* Levitystasaisuuden ja pisarakoon mittaustulokset ovat SJF:n koetuselostuksesta (ANON. 1986). Suuttimien levitystasaisuus on määritetty 50 cm:n suutinvälillä ja 400/600 mm puominkorkeudella.

Vuoden 1989 kokeissa näytteitä otettiin jokaisesta kerranteesta kahdeksasta kohdasta kasvustoa: viljasta yli ja alle 10 cm korkeudesta, rikkakasveista ja maasta sekä suutinten alta että välistä. Viljasta ja rikasta otettiin näytteet 100 cm<sup>2</sup> ja maasta 78 cm<sup>2</sup> pohjapinta-alalta. Vuoden 1990 kokeissa näytteiden määrä oli sama, mutta ruiskutuksen tarkoituksesta johtuen näytteitä otettiin viljasta kolmelta eri korkeudelta katkaisemalla ohra laboratorioskokeessa 0, 14 ja 28 cm:n ja kenttäkokeessa 0, 21 ja 42 cm korkeudesta. Yhteen näytteeseen otettiin kulloinenkin osa kahdesta kasvusta. Ruiskutusnesteestä otettiin näyte aina juuri ennen ajoa. Kerranteita oli molempina vuosina 4 kpl.

Näytteet analysoitiin fluorometrillä. Tuloksena saatiin merkintäainemäärä pohjapinta-alaa kohden. Koska myös ruiskutusnesteen konsentraatio ja nestemäärä l/ha mitattiin, voitiin saatuja näytteiden ainemääriä verrata annokseen. Vuoden 1990 kokeissa näytteiden ainemäärä laskettiin myös näytteen märkämässään kohden.

Vuoden 1991 kokeissa käytettiin maatalousteknologian laitoksella tehtyjä tekokasvustoja. Toinen niistä vastaa ohrakasvustoa keväisessä rikkakasvintorjuntavaiheessa ja toinen myöhäisemmässä kehitysvaiheessa kasvitautiruiskutusta varten. Kasvustojen materiaalina on messinki.

Matalan kasvuston kokeessa näytteitä otettiin neljästä eri kohdasta: ohran lippulehti, leveälehtisiä rikkakasveja 2 kpl, 50 ml pitkä 3 mm nylonpilli pystysuunnassa maahan nähden ja maakeräin 120 mm x 10 mm. Korkeassa kasvustossa näytteinä olivat vaakasuuntaiset messinkiliuskat (110 mm x 15 mm poikittain kylvöriiviin nähden) maassa, 170 mm, 360 mm ja 540 mm korkeudessa. Näytteitä otettiin molemmissa kokeissa 16 kpl /kerranne. Erikseen ajettavia kerranteita oli kaksi.

Merkintäaineena käytetty natriumkloridi liuotettiin deionisoidulla vedellä. Näytteiden sähkönjohtavuus mitattiin. Tuloksena saatiin ainemäärä näytteen pinta-alaa kohden. Kun levitetty annoskin mitattiin, voitiin laskea merkintäaineen pidäytyminen eri näytekohdissa.