

# **Triadimefoni metsätaimi- tarhoilla: työhygieniä ja levitysmenetelmien tehokkuus**

**Triadimefon in forestry nurseries: operator exposure and the effectiveness of spraying methods**

Milja Mäkinen  
Leo Tervo  
Anneli Tuomainen  
Juhani Kangas

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA



## **Triadimefoni metsätaimitarhoilla: työhygieniä ja levitysmenetelmien tehokkuus**

**Triadimefon in forestry nurseries: operator  
exposure and the effectiveness of spraying  
methods**

Milja Mäkinen, Leo Tervo, Anneli Tuomainen  
& Juhani Kangas

**Milja Mäkinen, Leo Tervo, Anneli Tuomainen & Juhani Kangas. Triadimefoni metsätaimiharjoilla: Työhygieniä ja levitysmenetelmien tehokkuus. Triadimefon in forestry nurseries: operator exposure and the effectiveness of spraying methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 657. 20 s. ISBN 951-401586-X, ISSN 0358-4283.**

Triadimefoni on yleisesti metsätaimiharjoilla koivunruosteen ja männyn versoruosteen torjunnassa käytetty systeeminen fungisidi. Tässä tutkimuksessa selvitettiin triadimefonin säilymistä koivuntaimien lehdillä eri levitysmenetelmiä käytettäessä. Lisäksi haluttiin selvittää työntekijän altistumista reppuruiskulla tapahtuvassa levitystyössä. Torjunta-aineen analysoimiseksi työhygieenisistä näytteistä ja koivun lehdistä kehitettiin kaasukromatografiset menetelmät.

Torjunta-ainetta levitettiin tutkitulla taimiharjalla neljällä eri menetelmällä, joita olivat Solo-ruisku (reppuruisku), kasteluramppi, kasteluramppi varustettuna ilmapuhalluksella ja metallipaja M. Pitkäniityn valmistama tarkkuusruisku.

Työntekijän hengitysteitse tapahtuvaa altistumista arvioitiin keräämällä ilmanäytteitä hengitysvyöhykkeeltä. Näytteet kerättiin torjunta-aineen punnituksen, sekoituksen ja tankkien täytön aikana sekä työntekijän levittäessä torjunta-ainetta. Käsienpesunäytteiden avulla arvioitiin työntekijän ihoaltistumista triadimefonille käsien kautta ja suojakäsineiden suojaustehokkuutta. Työvaatetuksen suojaustehokkuutta ja muun ihon kautta tapahtuvaa altistumista triadimefonille arvioitiin lappunäyttein.

Työntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitatut torjunta-ainepitoisuudet olivat alle analyysimenetelmän määrittämissä rajat. Työntekijä oli hyvin kokenut ja ammattitaitoinen torjunta-ainetyössä. Jauhemaisesta torjunta-ainevalmisteesta käyttöliuosta sekoitettaessa pölyämisen riski on kuitenkin aina otettava huomioon. Lisäksi reppuruiskutuksessa aerosoli voi joutua hengitysvyöhykkeelle. Ulkona tapahtuvassa levitystyössä tähän vaikuttavat aerosolin ominaisuuksien lisäksi mm. sääolosuhteet. Työntekijän vaatetuksen alta mitattu torjunta-ainepitoisuus oli vain 0,6 % päältä mitatusta. Käytetyn suojavaatetuksen voidaan arvioida suojanneen hyvin työntekijää vallinneissa olosuhteissa. Suojakäsineiden sisältä löytyi suhteellisen suuri pitoisuus triadimefonia aiheuttaen puolet lasketusta ihon kautta tapahtuneesta kokonaisaltistumisesta. Tämä johtui todennäköisesti enemmän työskentelyn aikana tapahtuneesta likaantumisen kuin käsin materiaalin läpäisystä. Työntekijän altistuminen jäi alle 1 %:iin AOEL-arvosta (torjunta-ainetyöstä aiheutuva korkein hyväksyttävä altistumisarvo). Tutkimustulokset kuitenkin osoittavat asianmukaisten ja oikein käytettyjen suojavaarusteiden merkityksen.

Torjunta-aineen säilymistä koivuntaimien lehdillä tutkittiin lehtinäyttein. Lehtinäytteitä kerättiin 20 päivän ajan ruiskutuksen jälkeen. Torjunta-aineen säilymistä kannalta paras menetelmä oli reppuruiskutus, jolloin tutkimusjakson päätyttyä triadimefonipitoisuus oli suurin. Kasteluramppimenetelmissä pitoisuus aleni selvästi ja liuoksen kulutus taimeja ja neliometriä kohden oli suuri, koska osa torjunta-aineesta ei osu kohteeseen. Kasvuston ohi leviävä torjunta-aine voi lisäksi aiheuttaa maaperän saastumisriskin. Ruiskulla M. Pitkäniityn levitystyö oli taloudellisempaa mutta silläkin säilyvyys oli huono.

**Avainsanat: triadimefoni, taimiharjat, torjunta-ainealtistuminen**

Triadimefon is a commonly used systemic fungicide in forestry nurseries. The aim of this study was to determine the residues of triadimefon in birch leaves after spraying the plants with different spraying methods. The occupational exposure of the operator using hand-held equipment was also studied. Gas chromatographic methods were developed for analysing the samples.

Triadimefon was sprayed with four different spraying equipment. The methods were backback sprayer, spraying with an mobile irrigation boom, mobile irrigation boom equipped with air flow system and a new precision sprayer model called M. Pitkäniitty.

The operator's exposure via respiratory tract was evaluated by taking personal air samples from the worker's breathing zone. The samples were collected during mixing and loading of the product and during spraying. Contamination of hands and the efficiency of protective gloves were estimated from handwash samples. The efficiency of other protective clothing and the contamination of the skin were determined with patch samples.

The measured concentrations from the operator's breathing zone were low (under the limit of detection). Skin contamination was also low; the actual exposure was only 0,6 % of the potential exposure. Contamination via hands caused half of the calculated total skin exposure. The triadimefon exposure of the operator in this study was calculated to be less than 1 % of the acceptable operator exposure level (AOEL). The use of adequate protective clothing and personal protective equipment seemed to have a great importance in reducing the operator's exposure to triadimefon.

The residues of triadimefon in collected birch leaf samples were followed 20 days after the spraying operations. The largest amount of pesticide was found in the end of the study from the leaves that had been sprayed with backback equipment. With the other three methods the majority of sprayed pesticide had disappeared during 20 days. The spraying with the new precision sprayer was more economic compared with the irrigator models because larger proportion of the pesticide reaches the actual plants. It is noticeable that the wasted pesticide can create a risk to the environment.

**Keywords: triadimefon, forestry nurseries, pesticide operator exposure**

Kirjoittajien  
yhteystiedot:

Milja Mäkinen, Anneli Tuomainen & Juhani Kangas  
Kuopion aluetyöterveyslaitos, PL 93, 70701 Kuopio  
Leo Tervo, Metsäntutkimuslaitos  
Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 40, 77600 Suonenjoki.

Julkaisija:  
Hanke  
Hyväksynyt :  
Jakaja:

Metsäntutkimuslaitos  
3147.  
Tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 16.10.1997  
Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 40,  
77600 Suonenjoki. Puh. (017) 513811.

# Sisällys

---

1. Johdanto .....	6
2. Aineisto ja menetelmät .....	7
Triadimefonin käyttö .....	7
Triadimefonin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet .....	7
Tutkimuskohde .....	7
Laitteistot .....	8
Työntekijä .....	11
3. Näytteenotot .....	12
Ilmanäytteet .....	12
Käsienpesunäytteet .....	12
Lappunäytteet .....	13
Lehtinäytteet .....	13
4. Analyysimenetelmät .....	14
Ilmanäytteet .....	14
Käsienpesunäytteet .....	14
Lappunäytteet .....	14
Lehtinäytteet .....	15
5. Tulokset .....	16
Työntekijän altistuminen triadimefonille .....	16
Triadimefonin säilyminen taimissa eri levitysmenetelmillä .....	16
6. Tulosten tulkintaa .....	18
Työntekijän altistuminen triadimefonille .....	18
Triadimefonin säilyminen taimissa eri levitysmenetelmillä .....	19
7. Kirjallisuus .....	20

# I. Johdanto

---

Triadimefoni on taimitarhoilla varsin yleisesti käytetty systeeminen fungisidi eli kasvitautien torjunta-aine, joka voi normaalissa torjunta-ainetyössä joutua elimistöön ihon ja hengitysteiden kautta. Koe-eläintutkimuksissa triadimefonista on havaittu imeytyvän ihon läpi noin puolet (Knaak ym. 1984). Triadimefoni on hermostolle myrkyllinen eli neurotoksinen aine, mikä ilmenee rotilla mm. motorisena yliaktiivisuutena (Crofton ym. 1988, Moser ja MacPhail 1989). Kaksivuotisessa rottien ruokintakokeessa triadimefonin NOEL-arvoksi (torjunta-ainetyöstä aiheutuva korkein hyväksyttävä altistumistaso) on saatu 2,5 mg/kg/vrk (IRIS 1997). Triadimefonin pääseminen iholle saattaa aiheuttaa kontaktidermatiitit eli kosketusihottumaa (Winter ja Kurtz 1985). Triadimefonille altistumisen pitkäaikaisvaikutuksia ei tunneta. Altistumista triadimefonille on tutkittu Yhdysvalloissa kolmella metsätaimitarhalla. Kaikissa työtehtävissä (mm. käyttöliuoksen valmistaminen, traktorilevitys, pakkaus ja kitkeminen) altistumista havaittiin tapahtuneen tutkittaessa käsienspesu- ja lappunäytteitä (Lavy ym. 1993).

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voitaisiinko metsätaimitarhoilla käyttää koneistettuja, työntekijää vähemmän altistavia triadimefonin levitysmenetelmiä yhtä tehokkaasti kuin perinteistä reppuruiskutusmenetelmää. Tässä tutkimuksessa oltiin erityisesti kiinnostuneita uusien, liikkuviin kastelujärjestelmiin liitettävien menetelmien ja uudentyypin tarkkuusruiskun levitystehosta ja torjunta-aineen säilymisestä koivuntaimien lehdillä. Tällaisilla automatisoidummilla levityslaitteistoilla voidaan saavuttaa paitsi työsuojelullisia, myös taloudellisia etuja. Lisäksi haluttiin määrittää työntekijän altistumisen suuruus ihon ja hengitysteiden kautta reppuruiskulla tapahtuvan levitystyön aikana.

*Tutkimus kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeeseen "Taimien kasvatusmenetelmät ja taimitarhahygieniä" (3147). Tutkimukseen on saatu Valtiovarainministeriön apuraha.*

*Kiitokset tutkimuksessa avustaneille laborantti Pirjo Heikkiselle ja mittaushygienikko Juhani Rautiaiselle Kuopion aluetyöterveyslaitokselta sekä Esko Jalkaselle, Kari Kautolle, Sirpa Kolehmaiselle, Hannu Korhoselle ja Urpo Paanaselle Metsäntutkimuslaitokselta. Käsikirjoituksen on lukenut MMK Sakari Lilja tehden huomioonotettuja korjauseesityksiä.*



## 2. Aineisto ja menetelmät

---

### Triadimefonin käyttö

Triadimefoni eli 1-(4-klorofenoksi)-3,3-dimetyyli-1-(1H-1,2,4-triatsoli-1-yyli)-2-butanoni on triatsoleihin kuuluva systeeminen, eli koko organismiin vaikuttava fungisidi, jolla on sekä taudeilta suojaava että jo tarttunutta tautia hoitava vaikutus. Triadimefonia käytetään maailmassa yleisimmin torjumaan viljakasvien, kahvin, vihannesten ja joidenkin hedelmien viljelyssä kasvitautien aiheuttamia tuhoja. Triadimefonia myydään Suomessa kauppanimellä Bayleton 25®. Bayleton 25® ruiskutejauheen triadimefonipitoisuus on 250 g/kg (Blomqvist ym. 1996, Worthing ja Hance 1991).

Suomessa kasvintuotannon tarkastuskeskus ilmoittaa Bayer AG:n valmistaman Bayleton 25:n®, käyttökohteiksi viljanhärmän, viljan ruostesienien, ohran rengaslaikun, karviais- ja mansikanhärmän, koivunruosteen ja männyn versoruosteen torjunnan (Blomqvist ym. 1996). Metsätaimitarhoilla käytettävän triadimefoniruiskutteen tehoainepitoisuus vedessä on 0,05 %.

### Triadimefonin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet

Triadimefoni ( $C_{14}H_{16}ClN_3O_2$ ) on väritön, kiteinen aine. Sen höyrönpaine on alle 0,1 mPa (20 °C) ja molekyylipaino 293,75. Triadimefoni liukenee veteen 260 mg/kg (20 °C) ja jonkin verran useimpiin orgaanisiin liuottimiin, paitsi alifaattisiin alkaaneihin (Budavari 1989).

### Tutkimuskohde

Triadimefonia levitettiin tutkittavilla menetelmillä yhdellä taimitarhalla elokuussa 1994. Koealoilla kasvatettiin rauduskoivun ja visakoivun taimia paakkutaimina 25 taimen laatikoissa maapohjaisilla kentillä. Torjunta-aineen levitystyön aikana kentät olivat täysin avoimia.

## Laitteistot

Torjunta-ainetta levitettiin tutkitulla taimitarhalla neljällä eri menetelmällä:

- Menetelmä 1. Solo-ruisku (reppuruisku) (kuva 1).
- Menetelmä 2. Tavanomainen kasteluramppi (kuva 2).
- Menetelmä 3. Kasteluramppi + ilmapuhallus (kuva 3).
- Menetelmä 4. Metallipaja M. Pitkäniityn valmistama tarkkuusruisku. Tässä tutkimuksessa M. Pitkäniityn tarkkuusruiskussa käyttämät suuttimet oli asennettu ruiskutusyksikköön, jossa oli kuljetin (kuva 4).

Kaikissa levitysmenetelmissä käytetyn torjunta-aineen käyttöliuoksen väkevyys oli 0,5 g/l eli 0,05 %. Ruiskute sekoitettiin traktorin tankkiin, jonka ruiskutesäiliön tilavuus oli 200 l, joten käyttöliuosta valmistettiin lisäämällä tankilliseen vettä 100 g torjunta-ainetta.

Solo-ruiskulla (menetelmä 1) tehdyssä levitystyössä työntekijä käsitteli kaksi koealaa, joihin molempiin kului 30 l torjunta-aineliuosta. Näin kuluneen tehoaineen määrä/koeala oli 15 g (koko alalla yht. 30 g). Solo-ruiskun maksimilevitystehokkuus on noin 2,3 l/min. Käytetty liuosmäärä taimea kohden oli 1,07 ja 1,13 ml/taimi.

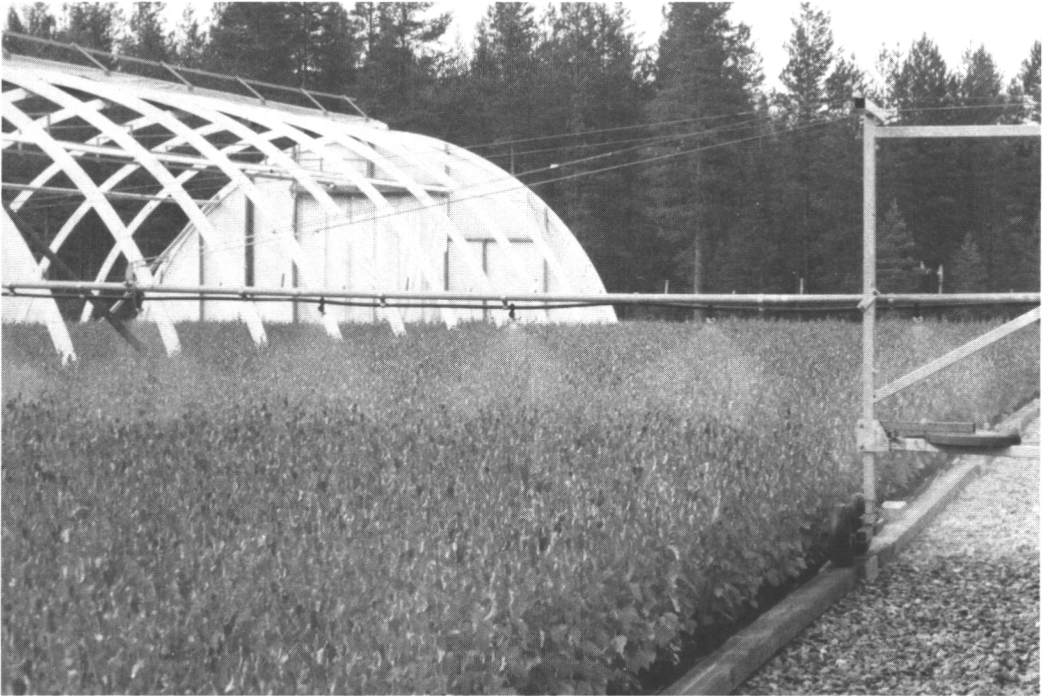
Toisessa tutkitussa (menetelmä 2) levitysmenetelmässä käytettiin taimien kasteluun tarkoitettua kiskoilla liikkuvaa ramppia, jossa koko koealueen pituinen levityspuomi kulkee taimilaatikoiden ylitse 0,15 m/s 115 cm:n korkeudella taimilaatikon turpeen pinnasta. Liuos pumpataan levityspuomiin traktorin ruiskutesäiliöstä. Puomissa on yhteensä 21 suutinta (suuttimet torjunta-aineen levitykseen tarkoitettuja, tyyppi TeeJet 11003) metrin välein, mutta puomin keskialueen suutinten tuotto osuu laatikkoalueiden väliselle kivialueelle, joten kokonaistuotto kohteeseen lasketaan yhdeksän suuttimen tuotosta. Käyttöpaineella 4 bar tuotto on 1,4 l/min, joten rampin kulkuaikana (5,23 min) liuosta kuluu 7,33 l/suutin ja 66 litraa koko koealaa kohden.

Kasteluramppimenetelmässä (menetelmä 3) voidaan käyttää ilmapuhallusta apuna liikuttelemassa taimien lehtiä. Laitteisto on levitystyön kannalta toimintaperiaatteiltaan samanlainen kuin pelkkää kasteluramppia käytettäessä. Taimilaatikoiden päälle osui kahdeksan suuttimen tuotto, eli torjunta-aineliuosta kului 59 l tuoton ja paineen ollessa samat kuin edellisellä menetelmällä.

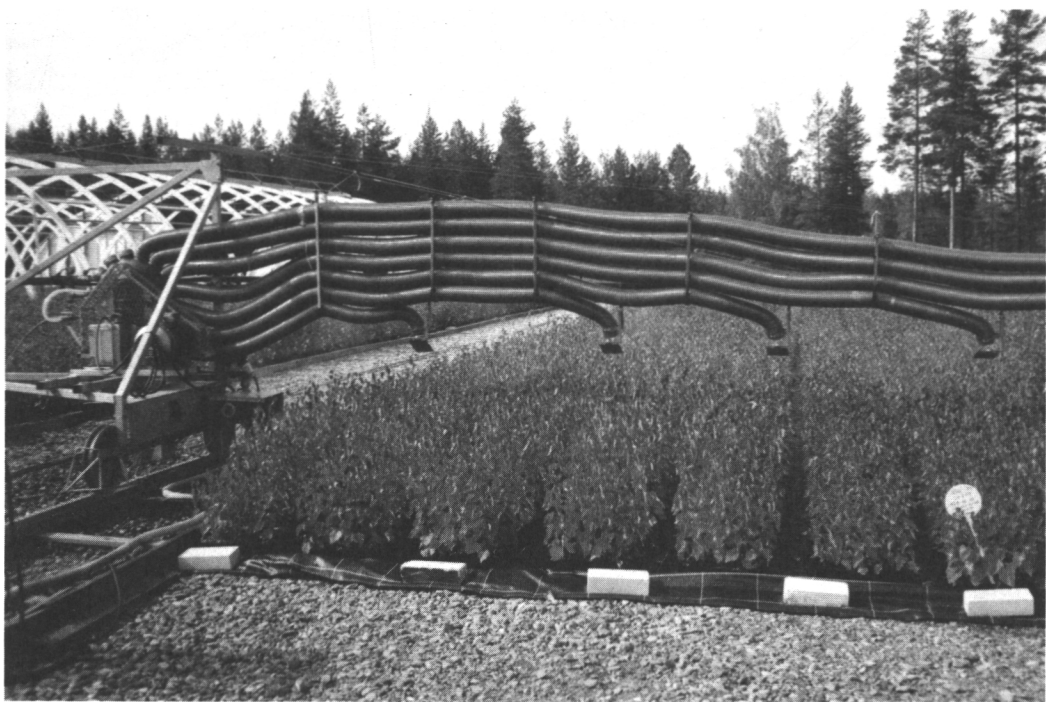
Metallipaja M. Pitkäniityn tarkkuusruisku on traktorisovitteinen ja ruiskutuspuomissa on yhteensä 67 suutinta 15 cm:n välein.



Kuva 1. Reppuruisku.



Kuva 2. Tavanomainen kasteluramppi.



Kuva 3. Kasteluramp-  
pi + ilmapuhallus



Kuva 4. Ruisku M.  
Pitkäniitty

Tutkimusta varten rakennettiin laitteisto, jossa käytettiin samoja suuttimia ja suutinetäisyyksiä sekä ruiskutuspainetta kuin traktorisoiviteisessa laitteistossa (menetelmä 4). Tutkimuksessa taimilaatikot nostettiin yksitellen kuljettimelle, jonka nopeus voitiin säätää. Tässä tapauksessa kuljettimen nopeus oli 0,27 m/s. Ruiskun läpi ajettiin 48 laatikkoa (1200 taimia, 156 taimia/m<sup>2</sup>, laatikkoalueen pinta-ala 7,7 m<sup>2</sup>), jolloin aikaa kului 1,2 min. Torjuntaaineliuoksen tuotto oli 0,46 l/min paineella 4 bar. Suutinputkien väli oli 15 cm ja putkien aukkojen etäisyys taimilaatikon turpeen pinnasta oli 8 cm. Suuttimia oli käytössä 3 kappaletta. Tiedot koealojen ja taimien ominaisuuksista on koottu taulukkoon 1. Taulukossa 2 on kerrottu käytetyistä liuosmääristä.

## Työntekijä

Solo-ruiskulla levitystyötä tehnyt mieshenkilö käytti torjunta-aineen punnituksen, sekoituksen, traktoritankin ja reppuruiskun täyttämisen sekä levitystyön aikana moottoroitua hengityksensuojainta, jossa oli A2-P2 -yhdistelmäsuodatin. Työntekijä oli pukeutunut Nokia Oil Safety-kumirukkasiin, muovisiin Rukka-sadehousuihin, nylon-puuvilla suojatakkiin ja kumisaappaisiin. Työntekijällä oli runsaasti kokemusta torjunta-ainetyöstä.

Taulukko 1. Triadimefonilla eri levitysmenetelmillä käsiteltyjen koealojen ja taimien ominaisuuksia.

	Solo-ruisku	Kasteluramppi	Kasteluramppi+ ilmapuhallus	Ruisku M. Pitkäniitty
Taimilaatikoiden määrä, kpl	2285	868	1001	48
Taimien määrä/koeala	54625	21700	25025	1200
Koealan pinta-ala (m <sup>2</sup> )	788	392	376	8
Taimimäärä/m <sup>2</sup>	70	55	67	156
Taimien keskim. pituus (vaihteluväli) (cm)*	55 (26–74)	72 (60–85)	53 (36–66)	68 (47–83)

\* laskettu 50 taimen keskiarvona

Taulukko 2. Koealoilla käytetyt torjunta-ainemäärät

	Solo-ruisku	Kasteluramppi	Kasteluramppi + ilmapuhallus	Ruisku M. Pitkäniitty
Kulunut tehoaineen määrä (g)	15	32	29,3	0,8
Käytetty liuosmäärä (ml/taimi)	1,10	3,00	2,30	1,40
Käytetty liuosmäärä (l/m <sup>2</sup> )	0,076	0,168	0,156	0,214

## 3. Näytteenotot

---

Torjunta-aineen levityksen kannettavalla Solo-ruiskulla katsottiin olevan ainoa työntekijää altistava levitysmenetelmä, koska muissa menetelmissä työntekijän ei välttämättä tarvitse olla ruiskun käynnistettyään lähellä levitysalaa. Tästä syystä vain Solo-ruiskun käyttäjältä kerättiin työhygieeniset näytteet.

Työhygieenisten näytteiden ottoaika oli 37 min. Tästä ajasta kului 20 min levitystyöhön, 8 min reppusäiliön täyttöihin ja kävelyihin traktorin luo ja takaisin 6 min. Lisäksi mittauksen valmisteluihin kului 3 min.

### Ilmanäytteet

Työntekijän hengitystiealtistumista mitattiin keräämällä Gelman-lasikuitusuodattimille SKC-näytteenottopumpuilla (malli 224) kaksi ilmanäytettä työntekijän hengitysvyöhykkeeltä. Ensimmäinen näyte (5 min) otettiin torjunta-aineen punnituksen, sekoituksen ja tankkien täytön aikana ja toinen (37 min) työntekijän levittäessä torjunta-ainetta. Näytteenoton jälkeen suodattimet siirrettiin teflontivisteisiin lasiputkiin, joissa oli 6 ml etyyliasettaattia. Näytteet analysoitiin samana päivänä, noin neljän tunnin kuluttua näytteenotosta.

### Käsienpesunäytteet

Käsienpesunäytteiden avulla arvioitiin työntekijän ihoaltistumista triadimefonille käsien kautta ja suojakäsineiden suojaustehokkuutta. Työntekijän kädet pestiin etanolilla työskentelyn päätyttyä. Oikea ja vasen käsi pestiin erikseen dekanterilasien yläpuolella, jonne pesuliuos (90 ml) valui. Sormia hierottiin kämmettä vasten astiassa minuutin ajan. Keräysastiasta näyte siirrettiin hios-tulpalliseen lasipulloon. Keräysastiaa huuhdeltiin vielä 10 ml:lla etanolia, huuhteluneste yhdistettiin näytteeseen. Näytteitä säilytettiin -18 °C:ssa analysointiin saakka. Näytteet analysoitiin viikon kuluessa näytteenotosta.

## Lappunäytteet

Ihon kautta tapahtuvaa altistumista ja työvaatetuksen suojaustehokkuutta arvioitiin lappunäyttein. Näytteet kerättiin 11 x 11 cm-kokoisille alfaselluloosalapuille, jotka asetettiin pareittain toisinaan vastaaville paikoille työvaatetuksen sisä- ja ulkopuolelle. Lappujen sijoituspaikat olivat rinta, yläselkä, reidet ja käsivarret (oikeassa käsivarressa vaatetuksen päällä ja vasemmassa alla). Käsi-varsilaput jouduttiin tilanpuutteen vuoksi sijoittamaan eri käsiin. Laput kiinnitettiin teipillä siten, että yhden lapun pinta-alaksi tuli 100 cm<sup>2</sup>. Laput kerättiin työskentelyjakson loputtua lasiputkiin, ja niiden päälle kaadettiin 25 ml etanolia. Lasiputket suljettiin teflontiiivisteisillä korkeilla. Näytteitä säilytettiin -18 °C:ssa analysointiin saakka. Näytteet analysoitiin viikon kuluessa näytteenotosta.

## Lehtinäytteet

Torjunta-aineen säilymistä taimien lehdillä tutkittiin lehtinäyttein. Lehtinäytteitä kerättiin heti levitystyön päätyttyä ja 20 päivän ajan joka päivä. Kerätyistä näytteistä analysoitiin kuitenkin vain osa. Lehtiä kerättiin taimista satunnaisesti eri puolilta koaloja kertakäyttöhansikkaita käyttäen tiiviisti suljettaviin muovipusseihin 40 lehteä/näyte. Lehdet kerättiin eri korkeuksilta taimista, kuitenkin taimien puolivälin alapuolelta. Lehtinäytteitä säilytettiin pusseissaan -18 °C:ssa analysointiin saakka. Ensimmäisen päivän näytteet kerättiin välittömästi levitystyön jälkeen torjunta-aineen kuivuttua taimien lehdille. Näytteet analysoitiin kahden kuukauden kuluessa näytteenkeruusta. Sääolosuhteet analysoitujen lehtinäytteiden keruupäivinä klo 12.00 (lämpötila, suhteellinen kosteus ja vuorokauden sademäärä) on esitetty taulukossa 3. Sademäärä 20 vrk:n aikana oli 14,4 mm.

Taulukko 3. Sääolosuhteet lehtinäytteiden keruupäivinä klo 12.00.

	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)
levityspäivä (1. näytteet)	+13	42
2 vrk:n kuluttua levityksestä	+14	47
6 vrk:n kuluttua levityksestä	+17	46
12 vrk:n kuluttua levityksestä	+11	57
20 vrk:n kuluttua levityksestä	+10	92

## 4. Analyysimenetelmät

---

Kaikki näytteet analysoitiin Hewlett-Packard kaasukromatografilla (HP 5890) käyttäen EC-detektoria ja Hp 1 kolonnia. Analyysissä käytettiin standardina triadimefonia ja triadimenolia (triadimefonin metaboliatuote joksi osa triadimefonista säilytyksen aikana muuttuu), joiden yhteensä antamat tulokset laskettiin yhteen. Nollanäytteet ja standardit käsiteltiin ja analysoitiin kuten näytteet.

### Ilmanäytteet

Triadimefoni uutettiin lasikuitusuodattimilta etyyliasetaatilla. Käytetyn analyysimenetelmän havaitsemisrajaksi saatiin 0,05 µg/ml. Menetelmän toistettavuus oli 2,1 % ja saanto 96 %.

### Käsienpesunäytteet

Pesuliuos (etanoli), haihdutettiin ensin 2–3 ml:ksi, joka siirrettiin kvantitatiivisesti erotussuppiloon 25 ml:lla natriumsulfaattiliuosta (2 %). Triadimefoni uutettiin liuoksesta dikloorimetaanilla, joka haihdutettiin kuiviin. Näytteet liuotettiin 1 ml:lla etyyliasetaatia. Menetelmän havaitsemisraja oli 0,05 µg/ml, toistettavuus 5,4 % ja saanto 86 %. Näytteet säilyivät muuttumattomina pakastuslämpötilassa ainakin kahden viikon ajan.

### Lappunäytteet

Lappujen säilytysetanoli kaadettiin kolveihin, ja laput uutettiin vielä kahdesti etanolilla. Etanolit yhdistettiin ja haihdutettiin kuiviin. Näytteet liuotettiin 1 ml:lla etyyliasetaatia. Havaitsemisraja oli 0,05 µg/ml. Menetelmän toistettavuudeksi saatiin 5,5 % ja saannoksi 112 % (johtui todennäköisesti liuottimen haihtumisesta



käsittelyn aikana). Näytteet säilyttivät aktiivisuutensa ainakin kahden viikon ajan.

## Lehtinäytteet

Kokonaisena kerätyt koivunlehdet sulatettiin huoneenlämmössä, ja niistä leikattiin erityisellä lehtinäyteleikkurilla (Leaf Sampler, Birkenstrand Co.) pyöreitä 5 cm<sup>2</sup> -kokoisia paloja. Lehdenpalaset siirrettiin lasipurkkeihin ja niiden päälle kaadettiin 100 ml deionisoitua vettä ja muutama pisara veden pintajännitystä vähentävää liuosta. Näytteitä ravisteltiin 3 x 20 min. Neste kaadettiin erotussuppiloihin, joihin lisättiin dikloorimetaania (ravistelu 1 min ajan 2 x 50 ml:lla). Näytteet kuivattiin vedettömällä natriumsulfaatilla ja haihdutettiin kuiviin. Lopuksi näytteet liuotettiin etyyliasetaatiiin. Nollanäytteet ja standardit valmistettiin samalla tavalla. Menetelmän havaitsemisrajaksi saatiin 0,05 µg/ml, toistettavuudeksi 8,2 % ja saannoksi 88 %. Viikon säilytyksen aikana näytteiden aktiivisuus oli alentunut noin 60 %:iin ja kahden viikon kuluttua noin 40 %:iin alkuperäisestä. Lehtinäytteiden tuloksia laskettaessa huomioitiin leikattujen lehdenpalasten yhteispinta-ala. Jokainen näyte sisälsi 40 kappaletta pinta-alaltaan 5 cm<sup>2</sup> kokoista palaa, joista pinta-ala laskettiin ylä- ja alapintojen summana. Yhden näytteen lehtipinta-alaksi saatiin näin 400 cm<sup>2</sup>.

## 5. Tulokset

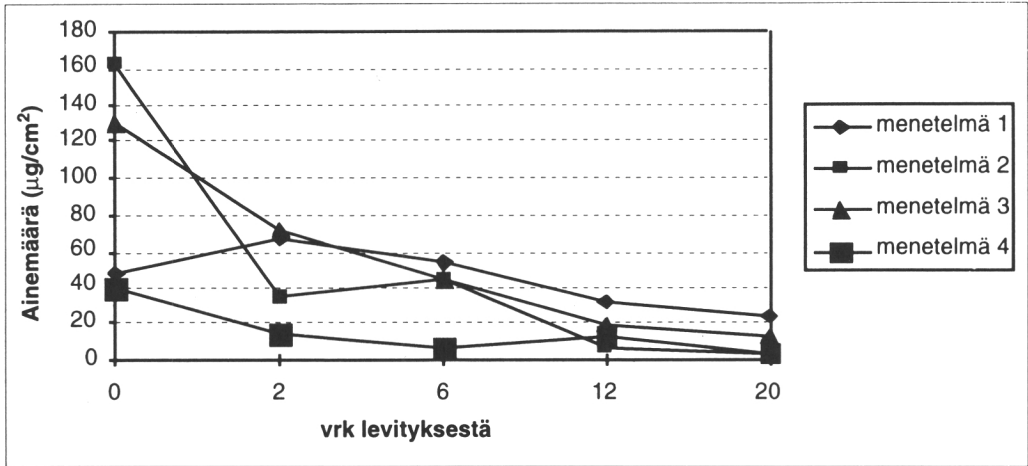
---

### Työntekijän altistuminen triadimefonille

Työntekijän hengitysvyöhykkeeltä mitatut torjunta-ainepitoisuudet olivat sekä käyttöliuoksen valmistustöiden että levityksen aikana alle analyysimenetelmän havaitsemisrajan. Laskennallinen pitoisuus hengitysvyöhykkeellä (puolet havaitsemisrajasta) oli sekoitus- ja täyttövaiheessa  $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja levitystyön aikana  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lappunäyttein mitattu työvaatteiden kontaminoituminen oli  $1846,1 \mu\text{g}/\text{h}$  (laput vaateuksen päällä, potentiaalinen altistuminen) ja vaatteiden alta mitattu ihon kontaminoituminen  $11,5 \mu\text{g}/\text{h}$  (laput vaatteiden alta, varsinainen altistuminen). Käsien kontaminaatioksi käsienpesunäytteiden perusteella saatiin  $10,4 \mu\text{g}/\text{h}$ , kun oikean ja vasemman käden mittaustulokset laskettiin yhteen. Ihon kokonaisaltistuminen määritettiin laskemalla yhteen mittaustulokset käsien ja muun ihon altistumisesta. Tulokseksi saatiin  $21,9 \mu\text{g}/\text{h}$ .

### Triadimefonin säilyminen taimissa eri levitysmenetelmillä

Menetelmällä 1 (Solo-ruisku) ruiskutetuissa taimissa triadimefonipitoisuus oli tutkimusajan päätyttyä suurin. Muilla levitysmenetelmillä käsitellyillä koealoilla pitoisuudet olivat selvästi alhaisemmat kun huomioidaan tainta kohden käytetty ainemäärä. Tuloksissa on laskettu yhteen triadimefonina mitattu pitoisuus ja triadimenoliksi muuttunut osuus torjunta-aineesta. Tulokset on esitetty graafisesti kuvassa 5.



Kuva 5. Triadimefonin säilyminen taimien lehdillä eri levitysmenetelmillä 20 päivän ajan.

## 6. Tulosten tulkintaa

---

### Työntekijän altistuminen triadimefonille

Käytetyt työvaatteet suojasivat työntekijää varsin hyvin. Vaate-tuksen alta mitattu triadimefonipitoisuus oli vain 0,6 % päältä mitatusta. Työntekijän suojavaatetuksen voi todeta olleen riittä-vän mittausten aikana vallinneissa olosuhteissa. Suojakäsineen sisältä (käsienesunäytteet) löytyi kuitenkin suhteellisen suuri pitoisuus torjunta-ainetta. Löytynyt pitoisuus vastasi puolta ihon kautta tapahtuneesta kokonaisaltistumisesta. Tämä johtuu toden-näköisesti enemmän työskentelyn aikana tapahtuneesta käsinei-den likaantumisesta kuin käsineiden läpäisystä. Suojakäsineiden valinnalla ja oikealla käsittelyllä on suuri merkitys käsien kautta tapahtuvaan altistumiseen (Nigg ym. 1986, Fenske 1988).

Kokonaisaltistuminen ihon kautta oli hyvin pientä. Jos työn-tekijän arvioidaan painavan 70 kg ja absorboitunut annos (olete-taan 100 % ihoabsorptio) on 15,3 µg mittauspäivän aikana (21,9 µg x 0,7h), saadaan tulokseksi 0,2 µg/kg bw, eli 70 kg painavalla henkilöllä 14 µg/henkilö (0,014 mg/henkilö). Verrattaessa altistu-misen aiheuttamaa riskiä triadimefonin koe-eläintutkimuksilla määritettyyn NOEL-arvoon (2,5 mg/kg/vrk), käytetään turvaker-rointa 100 (ei-karsinogeeninen aine). Tällöin saadaan AOEL-arvoksi (Acceptable Operator Exposure Level) 0,025 mg/kg, mikä 70 kg painavalla henkilöllä vastaa AOEL-arvoa 1,75 mg/henkilö. Vaikka oletettaisiin kaiken iholle joutuneen triadimefonin imey-tyvän ihon läpi, jää tässä tutkimuksessa mitattu triadimefonipitoi-suus huomattavasti alle (< 1 %) AOEL-arvon.

Hengitystiealtistuminen oli myös hyvin pientä. Lisäksi ai-nakin lyhyemmässä näytteenotossa (5 min) tuloksen ilmoittami-nen analyysimenetelmän havaitsemisrajan puolikkaana todennä-köisesti yliarvioi altistumista. Työntekijällä oli runsaasti koke-musta torjunta-ainetyöstä ja hän työskenteli taitavasti, mm. siirty-en koko ajan pois päin leviävästä torjunta-ainesumusta käsittele-mättömiä alueita päin. Lähes tuuleton sää oli myös ihanteellinen torjunta-ainetyöhön.

Asianmukaiset, puhtaat ja huolletut suojavarusteet ovat tar-peen, jotta altistuminen voidaan tehokkaasti välttää. Jauhemaista torjunta-ainevalmistetta käytettäessä on aina huomioitava pölyä-misriski, ja siksi on välttämätöntä käyttää hengityksensuojainta ainakin torjunta-aineen käyttöliuosta valmistettaessa, jolloin käsi-

tellään laimentamatonta torjunta-ainevalmistetta. Reppuruiskua käytettäessä on myös huomioitava aerosolin mahdollinen joutuminen hengitysvyöhykkeelle. Suositeltavaa olisi käyttää vähintään puolinaamaria (P2-suodatin) silmäsuojan kanssa. Hyvällä suojavaatetuksella (esim. kuten tässä tutkimuksessa käytetyt) iholle joutuvan torjunta-aineen määrä saadaan selvästi potentiaalista altistumista pienemmäksi. Suojakäsineiden hygieeniseen käyttöön tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Työvaiheista erityistä huomiota pitäisi lisäksi kiinnittää ruiskutusvälineiden pesuun ja huoltoon, joiden aikana on myös mahdollista altistua merkittävästi (Tuomainen ym. 1996).

## Triadimefonin säilyminen taimissa eri levitysmenetelmillä

Torjunta-aineen säilymisen kannalta paras levitysmenetelmä oli reppuruiskutus, jolloin kahden viikon kuluttua levityksestä eniten alkuperäisestä pitoisuudesta oli jäljellä. Analysoitujen lehtinäytteiden mukaan triadimefonipitoisuus olisi ollut tunti reppuruiskulla tapahtuneen levityksen jälkeen pienempi kuin kahden päivän kuluttua. Tämä voi johtua reppuruiskutuksen tai näytteenkeruun epätasaisuudesta.

Ruiskun M. Pitkäniitty etu kasteluramppimenetelmiin verrattuna oli sen taloudellisempi käyttöliuoksen kulutus, kun liuosta ei joudu yhtä paljon maahan taimien ohi. Lisäksi on muistettava, että Pitkäniityn suunnittelema ruisku on tarkoitettu ensisijaisesti havupuiden taimien ruiskutukseen.

Kasvuston ohi leviävä torjunta-aine voi joutua maaperään ja (ominaisuksistaan riippuen) lopulta pohjavesiin. M. Pitkäniittyruiskun tekninen toteutus pyrkii lisäksi siihen, että torjunta-aine leviäisi tasaisesti lehtien pinnalle, erityisesti alapinnalle. Fungisidien pääsy nimenomaan lehtien alapinnalle on niiden tehon kannalta kaikkein olennaisinta. Ilmeisesti kuitenkin edelleen tehokkaimpana menetelmänä säilyy reppuruiskutus.

## 7. Kirjallisuus

---

- Blomqvist H., Hirvonen L., Hynninen E.-L., Ohra-aho P., Vainio H. ja Vanhanen R. 1996. Torjunta-aineet 1996. Luettelo rekisterissä olevista torjunta-aineista ja niiden käyttöä koskevista ehdoista. Kasvintuotannon tarkastuskeskus, Helsinki.
- Budavari S. (ed.) 1989. The Merck Index: an Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. 11.ed., Merck, Rathway, 1606 p.
- Crofton K.M., Boneck V.M. and Reiter L.W. 1988. Hyperactivity Induced by Triadimefon, a Triazole fungicide. *Fundam. Appl. Toxicol.*, vol 10, 459–465.
- Fenske R. 1988. Comparative Assessment of Protective Clothing Performance by Measurement of Dermal Exposure during Pesticide Applications. *Appl. Ind. Hyg.*, vol. 3(7), 207–213.
- Knaak J.B., Yee K., Ackerman C.R., Zweig G. and Wilson B.W. 1984. Percutaneous Absorption of Triadimefon in the Adult and Young Male and Female Rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, vol 72, 406–416.
- Lavy T.L., Mattice J.D., Massey J.H. and Skulman B.W. 1993. Measurements of Year-Long Exposure to Tree Nursery Workers Using Multiple Pesticides. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol 24, 123–144.
- Moser V.C. and MacPhail R.C. 1989. Neurobehavioral Effects of Triadimefon, a Triazole Fungicide, in Male and Female Rats. *Neurotoxicol. Teratol.*, vol 11(3), 285–293.
- Nigg H.N., Stamper J.H. and Queen R.M. 1986. Difocol Exposure to Florida Citrus Applicators: Effects of Protective Clothing. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, vol 15, 121–134.
- Triadimefon 1997. Integrated Risk Information System. Micromedex Inc., vol 32.
- Tuomainen A., Tervo L., Manninen A. ja Kangas J. 1996. Permetriini tukkimiehentäin torjunnassa: työntekijöiden altistuminen ja permetriinin säilyminen taimissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 602, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Suonenjoki, 19 s.
- Winter C.K. and Kurtz P.H. 1985. Factors Influencing Grape Workers Susceptibility to Skin Rashes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol 35, 418–426.
- Worthing C.R. and Hance R. (eds.) 1991. The Pesticide Manual: The World Compendium. 9. ed., British Crop Protection Council, Farnham, 1141 p.



ISBN 951-40-1586-X  
ISSN 0358-4283