



## ENDURE

European Network for Durable Exploitation of crop protection strategies

Project number: 031499

Network of Excellence  
Sixth Framework Programme

Thematic Priority 5  
FOOD and Quality and Safety

### ***Deliverable DR2.21***

**A “state of the art” conceptual innovative crop protection system (icps) for maize**

**Due date of deliverable:** M42

**Actual submission date:** M47

**Start date of the project:** January 1<sup>st</sup>, 2007

**Duration:** 48 months

**Organisation name of lead contractor:** WUR

**Revision:** V1

Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)	
Dissemination Level	
<b>PU</b> Public	<b>X</b>
<b>PP</b> Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
<b>RE</b> Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission Services)	
<b>CO</b> Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

## Table of contents

Table of contents .....	2
Glossary .....	3
Summary .....	4
1. Estimated potential in reduction of pesticide use in maize when the model for an innovative crop protection system in the future will be applied .....	5
2. Identified required research to complete the model (for maize) .....	9
3. Manuscripts for publications in national specialist journals regarding crop protection .....	10
3.1 A vision regarding high-tech crop protection in the future .....	10
3.2 Hungarian version .....	18
3.3 Italian version .....	23
3.4 Dutch version .....	29

## Glossary

ENDURE European Network for Durable Exploitation of crop protection strategies

AU: Århus University(DK)

CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche (IT)

IHAR: Plant Breeding and Acclimatization Institute (PL)

PRI: Plant Research International (NL)

SZIE: Szent Istvan University (HU)

## Summary

Subactivity RA2.2 aims to explore the potential use of innovative technologies for implementing crop protection strategies.

DR2.21, a state of the art conceptual innovative crop protection system for maize, is the follow up of DR2.13, a model for an innovative crop protection system in the future illustrated for maize. Where DR2.13 describes the requirements, steps and techniques needed to control pests, weeds and diseases in maize so that high quality products can be grown with minimal use of agrochemical pesticides, DR2.21 adds the following:

- what is the estimated potential in reduction of pesticide use in maize when the system will be applied for maize?
- which research is still needed before such a system can be applied?
- manuscript for publications in popular national specialist journals regarding crop protection explaining the vision of RA2.2 regarding high-crop protection in the future

# 1. Estimated potential in reduction of pesticide use in maize when the model for an innovative crop protection system in the future will be applied

## Introduction

To show how innovative techniques for monitoring and precision spraying can be used we have developed a model for an innovative crop protection system (ICPS) for the future (DR2.13). The goal of the system is to perform optimal crop protection ensuring highest yields and good quality product with minimal use of conventional crop protection products.

The model is schematically represented in Figure 1.

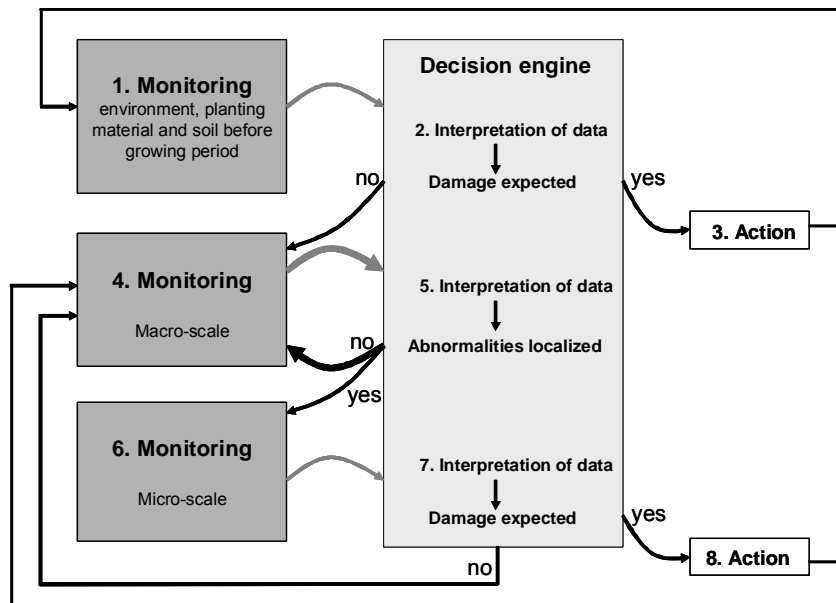


Figure 1. Generic model of an innovative crop protection system.

The idea of the model is that before and during the growth period one should monitor (monitoring on macro scale level and monitoring on micro scale level) for the presence of pests, diseases, weeds and for factors influencing pest and diseases. This should be done in such a way that pests and diseases can be detected before symptoms are visible. The data should be analyzed (interpretation) resulting in an advice for control measures (action). Advice will be to spray or not to spray. When spraying is recommended plant protection products should be applied as targeted as possible using precision spraying techniques. Examples of alternative control measures are biological control, application of plant extracts, use of pheromones, application of beneficial organisms, culturing measures, use of vacuum cleaners to suck up insects, UV treatment to kill microorganisms, use of pheromones for mating disruption, mass trapping, lure and kill, destruction of weeds by burning, high pressure air or finger hoeing, etc. A potential innovative measure could be laser beam killing of insects. All these procedures should result in a reduction of pesticide use compared to the nowadays pesticide use.

In the framework of Endure, Meissle et al. (2010) have made an inventarisation of the nowadays pesticide use in maize in Europe. Taking these findings as a basis, we describe

the estimated reduction of pesticide use in maize in Europe when the ICPS model would be applied on maize.

### **The before growth period**

#### **Fungicides and insecticides**

Nowadays the pesticide use before the growing period consists of seed coating. In Europe generally all the maize seeds are coated with fungicides (in the Netherlands and Denmark 95% of the seeds). The most common active ingredients of seed treatments were amide, dithiocarbamate and pyrrole fungicides. In Hungary, Italy, Spain the Netherlands, Germany and Poland most of the seeds are treated with insecticides (thiamethoxam, tefluthrin, clothianidin). Only France and Denmark do not use insecticide treated seeds.

The model aims to secure conditions allowing the use of healthy seeds. This would result in a reduction of the use of the fungicides amide, dithiocarbamate, pyrrole and the insecticides thiamethoxam, tefluthrin, clothianidin for seed treatments of 100% in the before planting stage.

### **The during growth period**

#### **Fungicides**

Foliar fungicide sprays are not used in Europe except for seed production in Southwest France against *Helminthosporium* spp., *Fusarium* spp. and *Puccinia* pp. Use of the ICPS model will therefore not result in a big reduction of the use of fungicides during growth of maize in Europe.

#### **Herbicides**

Herbicides are frequently applied before the seedlings emerge. The mean number of pre-emergence applications per season ranges from 0.1 in Southwest Poland and Denmark to 1.1 in Southwest France. Most herbicides, however, are applied post-emergence with the number of applications ranging from 0.4 in Southwest France to 2.3 in Denmark. A broad range of active ingredients has been used in Europe, including ureas, triazine, pyridine, benzoylcyclohexanedione, amide, oxazole, aromatic acid and nitrile herbicides.

Using the ICPS model, one of the advices for weed control would be precision spraying. Gerhards and Christensen (2003) reported a reduction in herbicide use with a map-based precision spraying approach. The reduction in maize was about 11% for herbicides against broad-leaved weeds and 78% for grass weed herbicides. By optimising precision spraying technology and/or by combining it with other weed control measures, such as innovative mechanical weed control (Melander et al. 2005; van der Schans et al. 2006; Cloutier et al. 2007; van der Weide et al. 2008), a reduction of herbicide use of 90% could be achieved in the future.

#### **Insecticides**

In Europe the most important pest organisms in maize are corn borers (*Ostrinia nubilalis* in Hungary, Spain, Italy, Poland; *Sesamia nonagrioides* in France and Spain), cutworms (*Agrotis* spp in Spain and Poland) and the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* in Hungary).

The maize area treated with soil insecticides is 5% in Italy, 10% in Spain, but highest in France (32–42%) and Hungary (50–60%). At present, commonly used active ingredients in France and Hungary include tefluthrin and cypermethrin. In France, carbofuran, carbosulfan and benfuracarbe were used until 2009.

Half of the maize area is treated with foliar insecticides in the Ebro Valley in Spain, followed by the Beke's region in Hungary, Southwest Germany, the Tolna region and Southwest Poland. No more than 11% of area was treated in the Po Valley of Italy, France and Denmark. No insecticide sprays were applied in the Netherlands. If treated, generally one application was done with the exception of the Ebro Valley, where two applications were also

common. The most commonly used active ingredients in spray insecticides are pyrethroids and organophosphates, but oxadiazine, nicotinoid, carbamate and diflubenzuron are also used.

Alternative control measures include crop rotation, early or very late planting, ploughing and biological control (for instance *O. nubilalis* and *H. armigera* are treated with *Trichogramma* spp.). At the moment, entomopathogenic fungi, viruses or *Bacillus thuringiensis* strains have potential to reduce chemical insecticides in the future. Synthetically produced sex pheromones can be used for mating disruption of stem borers. After releasing the pheromone in mating aggregation sites or in the field, male moths are no longer able to locate females, no mating occurs and no fertile eggs are oviposited (Fadamiro et al. 1999). In Europe, mating disruption has proved to be effective against *S. nonagrioides*, where populations could be reduced by more than 60% (Albajes et al. 2002). The use of semiochemical-based insecticide baits is another option for western corn rootworm management in Europe. Cucurbitacin is a plant compound from watermelon which is highly preferred by root-worm adults to feed on. If applied together with insecticide as a foliar treatment, only small doses of active ingredient are necessary to kill the adults (Buhler et al. 1998; Edwards et al. 1999).

Precision spraying with insecticides in maize offers possibilities. Better positioning of the insecticide in the plant canopy at the positions where the insects are mostly found can improve efficacy and reduce application rates. At soil surface underneath high maize canopies precision spraying can reduce insecticide input by 50%. In leaf canopy insecticide application can be reduced by 50% by crop-adapted application techniques (Michielsen et al., 2006) and up to 85% in combination with precision in field application.

## Conclusions

Summarizing the Estimated potential in reduction of pesticide use in maize when the model for an innovative crop protection system in the future will be applied is as follows:

With respect to fungicides a 100% reduction is expected for fungicide treatments of seeds; with respect to insecticides a 100% reduction is expected for insecticide treatments of seeds. Precision spraying can reduce insecticide use with 50% in soil applied insecticides and with 85% in foliar applied insecticides.. With respect to herbicides use a 90% reduction in spraying is expected based on reduced inputs for precision spraying and innovative mechanical weed control.

Albajes R, Konstantopoulou M, Etchepare O, Eizaguirre M, Fre' rot B, Sans A, Krokos F, Ame'line A, Mazomenos B, 2002. Mating disruption of the corn borer *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) using sprayable formulations of pheromone. *Crop Prot.* 21, 217–225.

Buhler WG, Edwards CR, Bledsoe LW, Gerber C, Gray, ME, Steffey KL, 1998. Areawide pest management of western corn rootworm in Indiana and Illinois – turning the first corner. *Pflanzenschutz Ber.* 57, 69–74.

Cloutier DC, van der Weide RJ, Peruzzi A, LeBlanc M, 2007. Mechanical weed management. In: *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*. Ed. by Upadhyaya MK, Blackshaw RE, CABI, Oxon, UK, 111–134.

Cloutier DC, van der Weide RJ, Peruzzi A, LeBlanc M, 2007. Mechanical weed management. In: *Non-chemical weed management: principles, concepts and technology*. Ed. by Upadhyaya MK, Blackshaw RE, CABI, Oxon, UK, 111–134.

Edwards CR, Igrc-Barcic J, Berberovic H, Berger HK, Festic H, Kiss J, Princzinger G, Schulten GGM, Vonical, 1999. Results of the 1997–1998 multi-country FAO activity on containment and control of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte in central Europe. *Acta Phytopathol. Hun.* 34, 373–386.

- Fadamiro HY, Cosse´ AA, Baker TC, 1999. Mating disruption of European corn borer, *Ostrinia nubilalis* by using two types of sex pheromone dispensers deployed in grassy aggregation sites in Iowa cornfields. *J. Asia. Pac. Entomol.* 2, 121–132.
- Gerhards R, Christensen S. 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed Research* 43, 345-392.
- Meissle M, Mouron P, Musa T, Biger F, Pons X, Vasileiadis P, Otto S, Antichi D, Kiss J, Palinkas Z, Dorner Z, van der Weide R, Groten J, Czembor E, Adamczyk, Thobord J-B, Melander B, Cordsen Nielsen G, Poulsen RT, Zimmerman O, Verschwele A, Oldenburg E. 2010. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects.
- Melander B, Rasmussen IA, Barberi P, 2005. Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research. *Weed Sci.* 53, 369–381.
- Michielsen, JMGP, Zande, JC van de, Stallinga, H, Velde, P van, 2006. Evaluating spray techniques and their spray distribution in a high maize crop to control Western Corn Rootworm (*Diabrotica*). *Aspects of Applied Biology* 77, International Advances in Pesticide Application, 2006. 387-394
- van der Schans DA, Bleeker PO, Molendijk L, Plentinger M, van der Weide RY, Lotz LAP, Bauermeister R, Total R, Baumann DT, 2006. Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. *Applied Plant Research*, Wageningen University and Research Centre, Lelystad, The Netherlands.
- van der Weide RY, Bleeker PO, Achten VTJM, Lotz LAP, Fogelberg F, Melander B, 2008. Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Res.* 48, 215–224.



## 2. Identified required research to complete the model (for maize)

In DR2.13, a model for an innovative crop protection system in the future illustrated for maize, has been described. The individual elements of the system presented are generally available but still have to be improved before they can be linked together in an innovative crop protection system. This also requires knowledge about damage-thresholds, dose-response relations, biology, ecology, population dynamics, etc.

Obviously a lot of research still needs to be done in order to get the icps implemented. The following research topics have been identified:

- What are the lowest amounts of pathogens and pest organisms that can be detected? This should be determined for each relevant species for all the used techniques.
- Translation of measured amounts of pathogen/pests (e.g. DNA) into number of pathogens/ pest organisms, disease pressure, etc.
- What will be the action thresholds for biological control in the icps? The monitoring techniques will enable an earlier detection. Biological control measures can perhaps be effective when applied earlier resulting in lower action threshold. Study the effectiveness of biological control measures when applied at low detection levels.
- Study of dose response relations when control agents are applied when pathogens or pest organisms are detected at the lowest amounts possible. Advice such as adapting spray volume is based on input information from earlier scouting (disease, pest and weed) or real-time sensor data. The order of change is defined by means of an algorithm e.g. a doses-effect curve for a specific disease, pest or weed. These algorithms are to be specifically optimized or developed for each disease, pest, weed and pesticide combination.
- Improving remote weed species detection in arable crops
- ICT for translation of innovative monitoring data into advice
- Extensive studies of the maize pest- and disease organisms in maize with respect to epidemiology.
- Polymerase chain reaction (PCR) or real-time PCR based techniques can detect minute quantities of pathogen DNA, even from a single fungal spore or single bacterial cell. However, when a certain amount of pathogen is detected in a seed batch it may be difficult to correlate the total amount of inoculum DNA to the actual number of infected seeds to quantify the disease as quantitative PCR cannot distinguish between a seed batch with a high amount of pathogen DNA in a few seeds from a batch with low amounts in many seeds. A research topic could be to make a protocol to determine the amount of infected seeds in a batch with the use of PCR techniques.
- Development of a “lab-on-a-chip” device integrating DNA extraction, PCR and detection of PCR product.

### 3. Manuscripts for publications in national specialist journals regarding crop protection

In order to inform the growers we have written our vision regarding high-tech crop protection in the future for this target group. In 3.1 the english version of this vision is shown. This version has been or will be translated in other languages. These translations will be submitted for publication in popular national specialist journals regarding crop protection or agriculture. Paragraph 3.2 shows the Hungarian version; in 3.3 the Italian version is shown that will be submitted for publication in “L'informatore agrario, Edizioni L'informatore agrario”; 3.4 shows the Dutch version which will be submitted for publication in “Gewasbescherming”. A Polish version will be submitted for publication in the Polish journal about agriculture “Wieś Jutra”.

#### 3.1 A vision regarding high-tech crop protection in the future

Carolien Zijlstra<sup>1</sup>, Ivar Lund<sup>2</sup>, Annemarie F. Justesen<sup>3</sup>, Mogens Nicolaisen<sup>3</sup>, Peter Kryger Jensen<sup>3</sup>, Valeria Bianciotto<sup>4</sup>, Katalin Posta<sup>5</sup>, Elzbieta Czembor<sup>6</sup> and Jan van de Zande<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wageningen UR, Plant Research International, P.O.Box 69, 6700AB Wageningen, The Netherlands

<sup>2</sup> University of Southern Denmark, Niels Bohrs Allé 1, DK-5230 Odense M, Denmark

<sup>3</sup> Aarhus University, Department of Integrated Pest Management, Forsøgsvej 1, DK-4200 Slagelse, Denmark

<sup>4</sup> Institute of Plant Protection IPP – CNR, Viale Mattioli 25, 10125 Torino, Italy

<sup>5</sup> Szent Istvan University, Plant Protection Institute, Pater K. str.1. 2103-Gödöllő, Hungary

<sup>6</sup> Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzikow, 05-870 Blonie, Poland

##### **Introduction**

Within the framework of the Endure network of excellence, a group of researchers from the Netherlands, Denmark, Hungary, Poland and Italy, has developed a vision on how European crop protection could look like when using innovative techniques for monitoring and precision spraying. The outcome was a model for high-tech crop protection in the future (Zijlstra et al., in press).

Plant diseases, pests and weeds are major problems in crop production where they lead to yield and quality losses. Attention to the pesticides used to control these problems has been increased as they can have detrimental effects on the environment and human health.

A system whereby diseases, pests and weeds can be identified at a much earlier stage than is now the case would make it possible to limit the amount of chemicals to be applied. Earlier identification could also allow the grower to use biological control or take other, localized measures. Moreover, application of pesticides using optimal spraying techniques, or other environmental friendly control measures can add to the savings of pesticide use.

Assuming in the future that use of only minimal amounts of pesticides is allowed, the challenge was to investigate how this could be achieved if not restricted by the costs or the

amount of required research needed for operation of the crop protection system to be developed. The result was a model for an innovative crop protection system for the future. Subsequently the group has investigated what it will take to implement such a system and what is the potential of the system. Which techniques are already available and which innovations are to be expected? Which research is still required?

### ***A generic model for an innovative crop protection system***

In order to obtain an efficient crop protection strategy, it is important to monitor for diseases, pests and weeds before, during and after the growth period. Before the growth period, data should be collected that characterize the field and environmental conditions, and the starting material (seeds, tubers or plants) and soil should have the amounts of diseases, pests and weed seeds below the threshold levels. Once the growing period has started one should on a regular basis scan the field for the presence of diseases, pests and weeds. First this should be done on a macro scale level (field level). This will indicate the location where special attention is needed. This identified spot should subsequently be monitored in detail on the micro scale level (on plant level), to specify the nature, stage, development, severeness of the infection(s) and/or infestation(s). Additionally the field should also be monitored for environmental factors using the same approach. Gathered data should be analyzed in a holistic way in a so called “decision engine” resulting in an action plan for measures to be taken on the different levels (see Figure 1 for a schematic representation of this model).

### ***Innovative techniques for monitoring environmental data, weeds, pests and diseases***

Cameras can be used to visualize pests, fungi and weeds. However, it is desirable to be alerted for risks of pests or diseases in a crop before the symptomatic phase. This can be done by getting information about environmental data that promote disease development. Alternatively characteristics of plants can indicate the presence of pests, diseases or weeds. There is a broad range of innovative vision technologies available that can be used for these monitoring purposes, sometimes combined with micro-sensors or satellites so that localization of measurements can be fixed by GPS coordinates. By measuring changes in reflectance characteristics (using spectral analysis), we can get insight in diseases in the plant, the level of soil humidity distributed over the field, spatial patterns of clay and humus in the field, presence of residues of crops or weeds, etc. By measuring fluorescence of green parts of plants, plant stress can be detected which can be an indication for the presence of pathogens. The use of IR cameras enables the measurement of crop temperature. Molecular techniques that detect DNA or RNA that is specific for the harmful pathogens, pest organisms or weeds, can identify these long before disease symptoms or weeds are visible. All types of developmental stages of viruses, bacteria, nematodes, fungi, insects, etc. can be detected in plant material, seed, soil, water, air or any other environment using PCR- or sequencing based methods. Seeds or seedlings of weeds can also be detected this way in soil. The simultaneous detection of multiple organisms is possible, as well as quantification or discrimination between living and dead organisms.

Serological techniques, such as ELISA-based methods, can detect specific proteins of viruses and bacteria. These techniques enable a very fast detection of pathogens in numerous environments.

Pests and diseases can also be detected indirectly by measuring volatiles. These can be produced by a plant upon attack of a pathogen and can subsequently be measured by so called electronic noses (Gardner and Bartlett, 1994). Pheromone traps enable the detection of pests.

A potential monitoring technique for pests is based on acoustic detection, as sounds produced by insects can be species specific

## ***Explanation of the different steps of the innovative crop protection model (Figure 1)***

### ***Step 1. Monitoring before the growth period***

In order to minimise diseases, pests and weeds, the planting material or seeds must be of the best quality. The presence of pathogens on the seed or planting material must be tested so that infected lots can be discarded, in order to reduce chemical treatments and to avoid introduction of new diseases. The probability of detecting a pathogen in the starting material depends on the sample size and the incidence of infection. The sample sizes should be optimized in order to maximize the probability of detecting the organism.

The soil should be checked for the occurrence of diseases and pests before the growing period. Once the diseases and pests above the threshold levels have been detected in the soil, appropriate decisions can be made, such as the choice of crop or cultivar to grow. At the same time, beneficial organisms in agro-systems, such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), fluorescent pseudomonads and others that take part in the bio-geochemical cycle, may be applied to characterize a soil with a good starting bio-fertility.

Before the growth period, the soil should also be monitored for the occurrence of weeds. Annual weed populations are recruited from the soil seedbank, and species composition and density can to some extent, be predicted from the composition of the seedbank (Dessaint et al., 1997; Rahman et al., 2006). Perennial weeds can also be monitored in the soil. However, a very precise monitoring can be carried out much easier at harvest time or in stubble.

### ***Step 2. Interpretation of data ending in advice for preventive control***

All collected data will be stored in the Decision Engine. The data will be translated into advice/action plan. At the moment the existing decision support systems for crops do not have the facility/facilities to give advice on how to prevent or reduce attacks of weeds, pests and diseases ahead of crop establishment. The systems are based on decision support when actual occurrence of weeds, pest or diseases in the crop has been assessed at a certain growth stage. However some systems take into account the history of the field when giving advices and they have the opportunity to incorporate such preventive modules when further developing the systems.

### ***Step 3. Actions for prevention of occurrence of diseases, pests and weeds before growing period based on advice of Decision Engine***

Examples of actions that should be taken: sow at the advised sowing data (advice based on the sensing of e.g. soil humidity); stimulate antagonists and beneficials in the soil (advice based on the measured biodiversity of the soil); select the optimal (resistant) cultivar (advice based on the detected species and/or pathotypes of diseases in the soil or plant residues); apply weed control strategies (examples: ploughing (to minimise previous crop residues on soil surface); tillage (mix mulched residues into the ground for the decomposition; sowing late; apply herbicides using precision spraying). Advice based on measured spatial distribution of remaining weed residues; seed treatment, preferentially with biological control agents.

### ***Step 4. Monitoring on macro scale***

During the growth period a continuous monitoring should be carried out at the macro scale level. The air could be monitored for the presence of airborne pathogen propagules, the field

could be monitored for weeds and the crop itself for the presence of pests, diseases or disease indicators such as stress. To do this in an efficient way, the cropping system should be monitored with techniques that can indicate on a macro scale level that “something is wrong” somewhere in the field. Subsequently these identified regions of the field should be analyzed on a micro scale level, in order to identify the nature, the location and the severity of the disease or pest.

Typical macro scale monitoring techniques are those that can detect stress in plants (Chaerle et al., 2006; Jalink et al., 2004) or that can measure specific volatiles (Pavlou et al., 2002; Jansen et al., 2009)

### **Step 5. Interpretation of data**

Data of historical weed maps will be evaluated by the decision engine. Spots that need special attention will be indicated and can be further investigated in micro scale monitoring for weeds. Other collected data for presence of diseases, pests and weeds will be evaluated as well, to be combined with known threshold values and factors influencing those which will result in an alert for a specific location.

If no abnormalities are localized in the field the Macro-scale monitoring will be continued. In case the decision engine has detected spots of interest (with treats for diseases, pests or weeds) the localized spot will be investigated more intensively by micro scale monitoring.

### **Step 6. Micro scale monitoring**

In many cases, the causal agent of a disease can be identified from a visual examination of the symptoms if they are present; however, in some cases, this may not be possible. The sampled tissue can then be tested using a variety of methods, the most widely used being ELISA or PCR, to identify the causal agent. A range of ELISA based tests for individual pathogens are commercially available. PCR based detection techniques have been developed for numerous pathogens, including both fungal, bacterial and virus diseases, over the last couple of decades (for reviews see Ward et al., 2004; Schaad et al., 2003). The different approaches for the identification of plant pathogens (although often based on a similar technology) can be divided into i) laboratory-based tests that require a sample being sent to a central laboratory for testing or ii) field-based tests, which can be performed directly in the field by the farmer or advisor. Direct identification in the field requires specialized test kits that have been designed to be fast, robust and easy-to-use. Antibody based lateral flow devices that give an answer in a few minutes have been developed for a number of pathogens (<http://www.pocketdiagnostic.com>). The devices have been developed for a number of viruses and bacteria but only for a few fungal diseases. Portable PCR, which is based on the rugged Cepheid SmartCycler II (<http://www.cepheid.com>), has been developed as a proof of concept for *Phytophthora ramorum* (Tomlinson et al., 2005). However, the system could also be easily implemented for other pathogens. Lab-on-a-chip devices are miniaturized micro fluidics systems that combine sampling, DNA-extraction, amplification and real-time detection in one disposable system. The development of such devices for the point-of-care detection of pathogens is a rapidly developing area (Mairhofer et al., 2009), but has not yet been implemented for plant pathogens. If such systems could be developed into robust, user friendly and cost effective systems, they would also have potential applications in agriculture, especially when they can be combined with immediate spray actions at the spot of detection.

Some insects and mites will be found all over the field whereas others are found in spots in the field. Once a hot spot has been detected, identification at a micro scale can be performed using morphological features or, in more difficult cases, molecular techniques such as described for diseases.



Weed density and species composition is usually heterogeneous in fields and weed coverage is often around or below 1% when a weed control is carried out. Micro scale detection and the control of single weed plants therefore constitutes the ultimate site-specific weed control concept, and offers the possibility of reducing the input of foliar acting herbicides up to 90%, and theoretically more.

### ***Step 7. Interpretation of data ending in advice***

A crucial element of the presented crop protection system is the decision engine. This decision engine contains a decision support system for crop protection. Before and during the cropping period, collected data (locations and amounts of diseases, pests and weeds, environmental and historical crop management data of the field) will be used as input for the decision engine. The decision engine analyzes all relevant data in such a way that advice can be given on how to manage the crop in the most efficient and environmentally friendly way in order to prevent crop damage that could be caused by pests, diseases and weeds. In order to do this, it is necessary for the decision to also contain information regarding damage thresholds, dose response relations, biology, ecology, population dynamics, etc. The use of a specific cultivar or seed treatment with (biological) control agents are examples of the actions that could be recommended before the growth period. The recommendations given during the growth period concern whether to spray or not. When spraying is advised, it is recommended that plant protection products are applied as targeted as possible using modern precision application technology. Advice, such as adapting the spray volume, will be based on input information from earlier scouting or real-time sensor data (Zande et al., 2008). The nature and amount of application is defined by means of an algorithm, i.e. a dose-effect curve for a specific disease, pest or weed. These algorithms should be specifically optimized or developed for each disease, pest, weed and pesticide combination. Guided by the spray map and the position, the sprayer will be controlled according to the recommended actions which could concern, e.g. whether to spray or not, to spray with one or several nozzles at the same time producing different spray volumes, or to adapt the nozzle type or spray pressure in order to change the quality of the spray.

### **Step 8. Actions for controlling diseases, pests and weeds**

Non chemical measures are preferred. Examples of alternative control measures are biological control, application of plant extracts, use of pheromones, application of beneficial organisms, culturing measures, use of vacuum cleaners to suck up insects, UV treatment to kill microorganisms, use of pheromones for mating disruption, mass trapping, lure and kill, destruction of weeds by burning, high pressure air or finger hoeing, etc. A potential innovative measure could be laser beam killing of insects.

When the decision is taken to spray, it should be done with high precision in order to reduce the spread of agrochemical to the surroundings while obtaining a good biological efficacy. It is recommended that plant protection products are applied as targeted as possible. Pesticides can be automatically applied using programmed spray volumes and required doses of pesticides in combination with a GPS system and a spraying robot. Some precision spray techniques are combined with vision technology, for instance for individual weed plant control.

When the sprayer is driving through the field its position is measured using GPS and transferred to the sprayer controller. In the spray controller the actual GPS position is compared to the list of positions in the spray map and it is checked whether the action performed on that moment is to be changed or not based on the position – action information in the spray map.

### **Conclusions**

The innovative crop protection system described in this review requires substantial research and development before it can be implemented. Many of the mentioned techniques for monitoring and detection are not used in practice yet and some will need substantial additional research before they can be implemented. Once all the techniques that are needed for data collection and interpretation are available and can be applied, advice for proper control can be given. This also requires knowledge about damage-thresholds, dose-response relations, biology, ecology, population dynamics, etc. However, the individual techniques for the described system, such as monitoring techniques, software tools and precision spray techniques, are generally available but still have to be improved before they can be linked together in an innovative crop protection system. Obviously the system will not be implemented in the near future but is meant as an inspiration to solve upcoming challenges in future farming if the use of pesticides will be even more restricted. Whether the described model for crop protection will be implemented in the future depends on several factors such as the context in which the farmer is going to operate i.e. the development of markets, public concern on pesticide use and policy making in general. Application of such a system would lead to a smaller environmental burden, less use of crop protection products, healthier and safer products that contain no chemical residues and – connected to these characteristics – a stronger competitive position for the European agro sector.

### **References**

- Chaerle L, Leinonen I, Jones HG and van der Straeten D, Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. *J Exp Bot* **58**:773-784 (2006).
- Dessaint F, Chadoeuf R and Barralis G, Nine years' soil seed bank and weed vegetation relationships in an arable field without weed control. *J Appl Ecol* **34**:123-130 (1997).
- Gardner JW and Bartlett PN, A brief history of electronic noses. *Sens Actuators, B* **18**: 210–211 (1994).

- Jalink H, van der Schoor R and Schapendonk A, A method and a device for making images of the quantum efficiency of the photosynthetic system with the purpose of determining the quality of plant material and a method and a device for measuring, classifying and sorting plant material. Dutch Patent 1 021 800 (2004).
- Jansen RMC, Miebach M, Kleist E, van Henten EJ and Wildt J, Release of lipoxygenase products and monoterpenes by tomato plants as an indicator of *Botrytis cinerea*-induced stress. *Plant Biol* **11**:859-868 (2009).
- Mairhofer J, Roppert K and Ertl P, Microfluidic systems for pathogen sensing: A review. *Sensors* **9**:4804-4823 (2009).
- Pavlou A, Turner APF and Magan N, Recognition of anaerobic bacterial isolates in vitro using electronic nose technology. *Letf Appl Microbiol* **35**:366-369 (2002).
- Rahman A, James, TK and Grbavac N, Correlation between the soil seed bank and weed populations in maize fields. *Weed Biol Manage* **6**:228-234 (2006).
- Schaad NW, Frederick R D, Shaw J, Schneider WL, Hickson R, Petrillo MD and Luster DG, Advances in molecular-based diagnostics in meeting crop biosecurity and phytosanitary issues. *Annu Rev*
- Tomlinson JA, Boonham N, Hughes KJD, Griffin RL and Barker I, On-site DNA extraction and real-time PCR for detection of *Phytophthora ramorum* in the field. *Appl Environ Microbiol* **71**:6702–6710 (2005). *Phytopathol* **41**:305-324 (2003).
- Ward E, Foster SJ, Fraaije BA and McMartney HA, Plant pathogen diagnostics: immunological and nucleic acid-based approaches. *Ann Appl Biol* **145**:1-16 (2004).
- Zande JC van de, Achten VTJM, Michielsen JMGP, Wenneker M and Koster ATJ, Towards more target oriented crop protection in *Aspects 84: International Advances in Pesticide Application 2008*, ed. by Alexander LS, Carpenter PI, Cooper SE, Glass CR, Gummer Andersen P, Magri B, Robinson TH, Stock D, Taylor WA, Thornhill EW and Zande J van der, The Association of Applied Biologists, Warwick, United Kingdom, pp. 245-252 (2008).
- Zijlstra C, Lund I, Justesen AF, Nicolaisen M, Jensen PK, Bianciotto V, Posta K, Czembor E and van de Zande J, Combining novel monitoring tools and precision application technologies for integrated high-tech crop protection in the future (a discussion document), Pest Management Science, in press



Figures

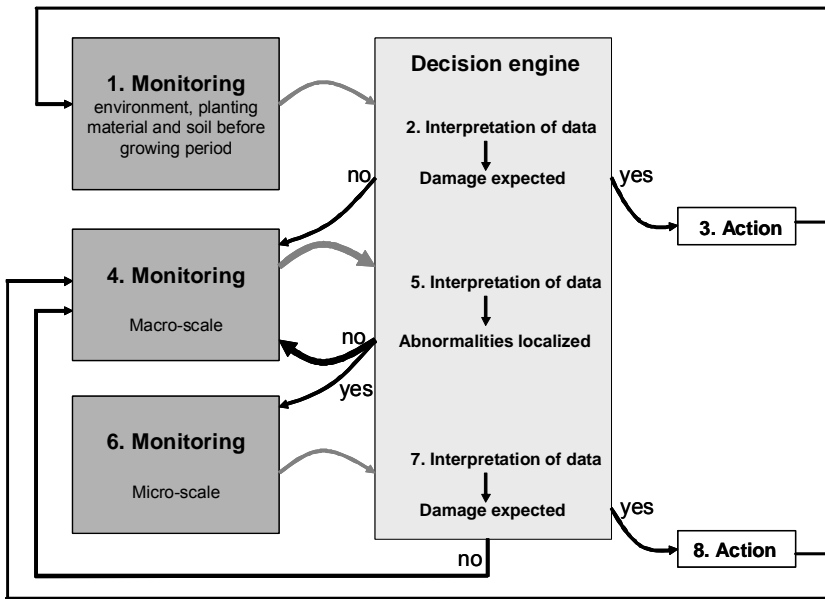


Figure 1.



Figure 2.

## 3.2 Hungarian version

### *Növényvédelem a távoli jövőben*

#### **Bevezetés**

Az Európai Unió által támogatott *ENDURE* program keretében Dánia, Hollandia, Lengyelország, Magyarország és Olaszország kutató csoportjai olyan modellt dolgoztak ki, mely figyelembe véve a már meglévő illetve még kidolgozás alatt lévő innovatív megoldásokat, új növényvédelmi rendszert körvonalaznak a távoli jövőben, melynek alapja a megelőzés, így a teljes monitoring rendszer kiépítése illetve a precíziós permetezés kombinálása (Zijlstra és mkt. in press).

A növényi kórokozók és kártevők valamint a gyomok igen nagy termésveszteséget okoznak a növénytermesztésben. Az ellenük való védekezésben a peszticidek használatának mértéke jelentősen megnőtt, melynek jelentős környezetvédelmi és humán egészségügyi kockázata van.

Az olyan rendszer, amelyben lehetőség van a kórokozók és kártevők korai felismerésére jelentősen csökkentheti a kijuttatott peszticid mennyiségét. Mindemellett a biológiai és más védekezési formák lehetőségei is kibővíthetők ezzel. Így például csak az érintett területek, érintett növények precíziós permetezésével további környezetkímélő megoldás lehetséges a peszticidek mennyiségének a csökkentésére.

Feltételezve, hogy a jövőben csak minimális peszticid használatát engedélyezik, elképzelhető egy olyan állapot, hogy a növényvédelem eszköztárában nem a védekezésre elköltött pénz mennyiségének lesz a fő szerepe, a kutatási eredmények már elérik a kívánt szintet, és megalkotható egy olyan modell, mely elméleti szinten már most kidolgozásra került a kutatócsoportok munkája eredményeként. Természetesen ez a modell tartalmazza már a meglévő technológiai újdonságokat, de nyomon követhetőek azok az innovációk, kutatások is, melyek megoldása még várat magára.

#### ***Az innovatív növénytermesztési rendszer modellje***

Annak érdekében, hogy hatásos növényvédelmi stratégiát dolgozhassunk ki, igen fontos a növényi kórokozók és gyomok feltérképezése a növénytermesztés különböző szakaszaiban, így már az ültetést megelőző időszakban is illetve a növekedési periódusban is.

Mielőtt ültetünk, ismernünk kell, adatokat gyűjteni az adott terület sajátosságairól, környezeti feltételeiről, időjárás körülményeiről valamint az ültetésre szánt magvak és talaj egészséges állapotáról is meg kell bizonyosodni. Csak úgy biztosíthatjuk a peszticidek mennyiségének csökkentését, ha a kiindulási állapotban már lehetőség szerint minden tényezőt optimálisan beállítunk. Ezt követi a növekedési periódusban a folyamatos ellenőrzése a kultúrának. Első sorban ez makro szintű (tábla szintű) ellenőrzést jelent, mely normálistól való eltérés esetén igényli a mikro szintű (egyedi növény szintű) ellenőrzést is. Ez utóbbi esetben az eltérés teljes beazonosítása is megtörténik illetve annak mértékének megállapítása is.

Mindezek az adatok egy olyan szintetizáló központba jutnak, melyek az adatokat nem csak rögzítik, hanem döntést is hoznak. Innen az elnevezése: döntéshozó egység ("decision engine"), ahol már a különböző szinteken történő beavatkozások is megjelennek (magyarázat a Fig.1-nél).

#### ***Innovatív módszerek a környezeti adatok, gyomok, kártevők és betegségek felméréséhez***

A különböző fényképezőgépek, felvevőgépek alkalmasak lehetnek a kártevők, gombák és

gyomnövények felismerésében. Azonban kívánatos lenne a kockázatos kártevők vagy betegségek felismerése egy növényen már a tünetek megjelenése előtt. Ez úgy lenne megvalósítható, ha olyan információkhoz jutnánk a környezeti adatokból, amelyek elősegítik betegség kialakulását. Alternatívaként a növények jellemzői/fenológiai változásai megmutathatják a jelenlétét a kártevőknek, betegségeknek vagy gyomoknak. Hogyan használhatjuk fel ezeket a rendszer leírására?

Nagyszámú innovatív vizualizációs technika áll rendelkezésünkre ilyen jellegű monitoringozási célokra, esetenként kombinálva mikro szenzorokkal vagy műholdakkal, így a mérések GPS koordinátákkal pontosan lokalizálhatóak. A változások nyomon követésével a hatásvizsgálatok során (reflexiós analízis során) (spektrális analízissel), betekintést nyerhetünk a beteg növény szöveteibe, a talaj páratartalmának eloszlásába az adott területen, a talaj agyag és humusz térbeli mintázatába, a növények és gyomok jelenlétére, stb.

A zöld növényi részek fluoreszcens mérésével kimutatható a növényi stressz, amely jelezheti a növényi betegségek megjelenését. Az infravörös kamerák használata lehetővé teszi a növények hőmérsékletének mérését.

Olyan molekuláris technikákkal, amelyek a kifejezetten a kórokozók, kártevők szervezetek vagy gyomok DNS és RNS-ének a kimutatásán alapulnak, a tünetek vagy akár a gyomok megjelenésük előtt azonosíthatóak. A vírusok, baktériumok, nematódák, gombák, rovarok, stb. minden fejlődési stádiumukban azonosíthatóak a növényi szövetek, mag, talaj, víz levegő vagy bármilyen más közeg mintáiból PCR- vagy szekvenáláson alapuló módszerekkel. Gyomok magjai vagy palántái szintén kimutathatóak a talajból ily módon. Lehetséges az egyidejű kimutatása több szervezetnek is, továbbá elkülönítése az élő és holt organizmusoknak. Szerológiai technikák, úgy mint az ELISA-alapú módszerek, lehetővé teszik a baktériumok és vírusok specifikus fehérjéinek azonosítását. Ezek a módszerek lehetővé teszik a kórokozók gyors kimutatását számos környezetben/közegben.

Kártevők és betegségek közvetlenül kimutathatóak a párolgás/levegő méréséből is. Ezt a növény sikeres felül fertőzését követően ún. elektronikus orral (Gardner and Bartlett, 1994) lehet mérni. A feromon csapdák a kártevők azonosítására szintén alkalmasak. Egy esetleges felvételezési technika lehet a kártevők esetében a hang azonosításon alapuló módszer, mivel a rovarok által kibocsátott hangok fajspecifikusak.

### ***Az innovatív növényvédelem(icpk) lépéseinek magyarázata (Lásd Fig.1.)***

#### ***1. lépés: A növekedési időszak előtti állapot felmérés***

Annak érdekében, hogy minimálisra csökkentsük a betegségeket, kórokozókat és gyomnövényeket, az ültetési alanyoknak vagy magoknak a legjobb minőségűeknek kell lenniük.

A magokon vagy palántákon jelenlevő kórokozókat pontosan kell ismerni, a fertőzött egyedeket el kell távolítani, annak érdekében hogy csökkentsük a vegyszeres kezelés mértékét és az újabb betegségek behurcolását a kultúrába. A kórokozó kimutatása a kiindulási anyagból, függ a minta nagyságától és a fertőzés mértékétől. A minta nagyságát optimalizálni kell annak érdekében, hogy növeljük az organizmus kimutatásának valószínűségét. A vegetációs idő előtt ellenőrizni kell a talajban a betegségek és kórokozók jelenlétét. A betegségek és kórokozók küszöbérték feletti előfordulása esetén, megfelelő döntéseket kell hozni, így például a helyes növény vagy kultúra megválasztása. Ugyanakkor, azonosítani kell a természetes szempontból hasznos organizmusokat, az arbuskuláris mikorrhiza gombákat (AMF), a fluoreszcens pseudomonasokat és a többi hasznos mikroszervezetet, amelyek részt vesznek a természetes biológiai talaj ökoszisztéma fenntartásában, így egy biztos alapot nyújthatnak a természetéshez. A növekedési időszak előtt fel kell mérni a talaj gyom szennyezettségét. A talaj mintákból származó magok alapján következtethetünk a nem évelő gyomnövények populációjára, a fajok összetételére és sűrűségére. Bizonyos mértékig előre jelezhető a faj összetétel (Dessaint és mkt., 1997; Rahman és mkt., 2006). Az évelő gyomnövények jelenlétét is ellenőrizni kell a talajban.

Azonban ezek pontosabb felvételezhetőek a betakarítási időszakban, vagy a tarlón, ahogyan ezt a későbbiekben kifejjük.

## **2. lépés. A gyűjtött adatok értelmezése megelőző védekezés céljából:**

Minden gyűjtött adat tárolásra kerül a döntéshozó egységben, az un. „Decision Engine”-ben. A feldolgozott adatokból szaktanácsadási és intézkedési terv készül. A jelenlegi döntéstámogató rendszerek nem rendelkeznek megfelelő adottságokkal és szolgáltatásokkal arra vonatkozóan, hogy tanácsot adhassanak a kártevők, növénybetegségek és gyomok előfordulásának csökkentésében a vegetációs időszak kezdete előtt. Ezeknek a rendszereknek az alapja, hogy döntés már a növények egy bizonyos növekedési szakaszában ténylegesen előforduló gyomok, kártevők vagy növénybetegségek felvételezése alapján történik. Mindemellett egyes rendszerek már figyelmet fordítanak a tábla előéletére mikor tanácsot nyújtanak és lehetőségük adódik beintegrálni az ilyen preventív modulokat a rendszer további fejlesztése során.

## **3. lépés. A “Decision Engine” által javasolt megelőző intézkedések a növénybetegségek, kártevők és gyomok megjelenése ellen a vegetációs időszak kezdete előtt**

Példák a javasolt intézkedésekre: vetés a javasolt vetési időpontban (javaslat pl. a talaj nedvesség tartalma alapján); antagonisták és hasznos mikroorganizmusok serkentése a talajban (javaslat a talajban mért biodiverzitás alapján); megfelelő (rezisztens) fajta-választás (javaslat a talajban vagy a növényi szármagmaradványokon azonosított kórokozó fajok és/vagy patotípusok alapján); gyomszabályozási stratégiák alkalmazása (például: szántás – növényi szármagmaradványok minimalizálása a talaj felszínén); talajforgatás (kevert szármagmaradványok beforgatása a talajba a lebomlás elősegítésére); késői vetés; célzott herbicid kezelés). Tanácsadás a gyomnövény maradványok térbeli eloszlásának mérésére alapozva; vetőmagkezelés lehetőség szerint biológiai ágensekkel.

## **4. lépés. Makro-szintű felvételezés**

A vegetációs időszakban makro-szinten folyamatos ellenőrzést kell végezni. Vizsgálni kell a levegőben lévő kórokozók csíraszámát, a táblán előforduló gyomokat valamint a növényen megjelenő rovarkártevőket, növénybetegségeket vagy az erre utaló indikátor tényezőket, mint például a növényi-stressz jeleit. Ahhoz, hogy mindez hatékonyan kivitelezhető legyen, olyan felvételezési technikákat kell alkalmazni, amelyek képesek makro-szinten jelezni, hogy a parcella egy adott területén "valami nincs rendben". Ezt követően a beazonosított területeket mikro-szinten kell analizálni annak érdekében, hogy a betegség vagy kártevő természetét, elhelyezkedését és súlyosságát meghatározzuk. Tipikus makro-szintű felvételezési módszerek például azok, amelyek a növényben lévő stresszt képesek kimutatni (Chaerle és mkt., 2006; Jalink és mkt., 2004) vagy amelyek a specifikus illékony anyagok mérésére használatosak (Pavlou és mkt., 2002, Jansen és mkt., 2009).

## **5. lépés. Az adatok értelmezése**

A felvételezett gyomtérképek adatait a „Decision engine” elemzi. A különös figyelmet igénylő helyeket megjelöli, és azok további elemzésére ad lehetőséget a gyomok mikro-szintű vizsgálatának a keretében. A többi – növénybetegségek, kórokozók és gyomok jelenlétével kapcsolatos – adat, szintén kiértékelésre kerül, kombinálva az ismert küszöbértékekkel és befolyásoló tényezőkkel, mely figyelmeztető jelzést küld a meghatározott helyre mutatóval. Ha



a területen rendellenességet nem lokalizált a rendszer, a makro-szintű monitoring folytatódik. Amennyiben a „Decision Engine” problémás területet jelez (a már betegségek, kártevők és gyomnövények ellen kezelt területeket is beleértve), további intenzív mikro-szintű vizsgálatnak veti alá azokat.

## 6. Mikro-detektálás

A legtöbb esetben a betegség vizuális módon azonosítható a tünetek alapján, néhány esetben azonban ez nem lehetséges. Ilyenkor használhatóak az elterjedt ELISA vagy PCR módszerek. Az ELISA tesztek könnyen hozzáférhetőek, és már számos patogén szervezet kiszűrésére alkalmasak. Az elmúlt évtizedekben a PCR technika is nagyot fejlődött és jó néhány patogén, köztük gombák, baktériumok, vírusok felismerésére azonosítására vált alkalmassá, (ld. Ward és mkt., 2004; Schaad és mkt., 2003). A növényi kórokozók identifikálásának két megközelítési módja van melyek hasonló módszereken alapulnak: 1.) laboratóriumi tesztek, melyhez a mintákat egy központi laborba kell küldeni a feldolgozáshoz; 2.) szabadföldi tesztek, melyet közvetlenül a helyszínen a gazdálkodó esetleg egy tanácsadó el tud végezni. A helyi próbákhoz speciális anyagok szükségesek, és feltétel hogy gyors, stabil legyen, valamint egyszerű a használatuk. Sok kórokozó kimutatására már kifejlesztettek egy ellenanyagot, áramláson alapuló eszközt, ami néhány percen belül már meg is mutatja az eredményt (<http://www.pocketdiagnostic.com>). Sajnos ez a módszer még csak néhány baktérium, vírus és néhány gomba azonosítására alkalmas csak. *Phytophthora ramorum* PCR-módszeren alapuló kimutatása már lehetséges egy hordozható készülék, a Cephid SmartCycler II (<http://www.cephid.com>) segítségével (Tomlinson és mkt., 2005), de széleskörű alkalmazása még nem megoldott. Sikeres alkalmazása után más patogénekre is kibővíthető lesz a módszer.

A lab-on-a-chip kellékek mikro rendszerben egyesítik a mintavétel, a DNS izolálás, a sokszorosítás és a detektálás lépéseit egy rendelkezésre álló eszközben. Az ilyen, és ehhez hasonló eszközök nagy ütemben fejlődnek (Mairhofer és mkt., 2009), de növény patogének kimutatására ma még csak ki vételes esetben alkalmazhatóak. Amennyiben sikerülne egy olyan rendszert kifejleszteni, amely stabil, felhasználóbarát és hatékony, akkor annak igen nagy igényt elégítené ki, különösen akkor, ha ez egy azonnali védekezési lehetőséggel is párosulna.

Néhány rovar és atka általánosan elterjed, míg mások csak meghatározott helyeken fordulnak elő. Ha fertőzött területet észlelnek, az ott levő kártevő morfológiai ill. nehezebb esetben molekuláris azonosítása (hasonlóan a kórokozóknál leírt módszerekkel) szükséges. A szántóföldeken megjelenő gyomnövények sűrűsége és összetétele meglehetősen heterogén, a borítottság pedig általában 1% alatt marad. A mikro-detektálási módszereknek éppen ezért létjogosultsága van ezen a téren is, sőt felcsillantja annak lehetőségét is, hogy a levélkontakt herbicidek beviteli mennyiségét akár 90%-kal, vagy akár többel is csökkentjük.

## 7. Adatfeldolgozás, értelmezés

A növényvédelemben döntő fontosságúak a döntések. Ezen döntéshalmaz része a növényvédelmi eszközök meghatározása. A termelés előtt, valamint alatt begyűjtött adatok (mint például a kórokozó károk elhelyezkedése és kiterjedése, rovarok és gyomok, védekezés környezeti és időbeli kezelési módjai) szolgáltatják a döntésekhez az alapot. A releváns adatok analízisével hathatós tanácsok adhatók a növények kezeléséhez, mellyel azok környezetbarát módon megóvhatók a különféle károkkal szemben, amiket a kórokozók, kártevők, gyomok okoznak. A felsoroltakon kívül fontos adatok még: a kárkűszőb, növényvédő-válasz arányosság, biológia, ökológia, populációdinamika, stb. A természet megelőzően ajánlhatóak a különböző növényváltozatok és csírakezelések (biológiai ágensekkel). A növekedési szakaszban azt kell eldönteni, hogy szükség van-e permetezésre, avagy nem. Feltéve, hogy elkerülhetetlen a permetezés, minél célzottabb és

pontosan kiszámolt kezelés javasolt. Az ajánlás, mint például a kijuttatott növény-védőszer mennyiség, a feldolgozott adatokon alapulnak, melyeket előzetesen vagy akkor felvételeznek (Zande és mkt., 2008). Az anyag mibenléte és mennyisége meghatározott algoritmus alapján számolt, mint amilyen a dózis-hatás görbe kórokozókra, rovarokra ill. gyomokra. Ezen algoritmusokat specifikusan optimalizálni kellene, továbbfejleszteni az egyes kórokozókra, kártevőkre, gyomokra, valamint a peszticid kombinációkra. Az ilyen adathalmazokból felépített „permet térkép” és a pozíció megadásával a permetező megtudhatná, hogy kell-e védekezni vagy sem, egy vagy több szert kell-e használni, esetleg más anyagot szükséges-e alkalmazni.

### **8.lépés: Növényi betegségek, kórokozók és gyomok ellenőrzésére szolgáló terv**

Általában környezetkímélő, nem kémia módszerek a kedveltek. Így például a biológiai védekezés, növényi kivonatok, feromonok, jótékony mikroorganizmusok alkalmazása, UV kezelés és más módszerek használatosak a kártevők visszaszorítására. Mindezek mellett azonban más innovatív módszerek is léteznek

Amennyiben permetezés szükséges, akkor olyan precíziós módszer alkalmazása szükséges, mely biztosítja a csökkent szermennyiségnek csakis a megfelelő területre történő kijuttatást. Mindez tovább kombinálható olyan automatizált robottal, mely GPS rendszerrel összekötve beazonosítja a kezelésre szoruló területet, annak speciális helyzetét. A visszacsatolási rendszer biztosítja, hogy mindig megtörténik ellenőrzése kívánt beavatkozásnak, és aktualizálja a GPS rendszer illetve a permetező térkép összevetésével a helyzetet.

### **Konklúzió**

A fent vázolt innovatív növényvédelmi rendszer kialakítása még számos fejlesztői és kutatói munkát igényel. Az egyes elemek leírására említett módszerek labor körülmények között már működnek, de a gyakorlatba történő bevezetésük még nem történt meg.

Így például igen hiányosak ismereteink a különböző határ értékekről, a talajban lévő kártevők maximális, de még betegséget nem okozó értékeiről, a különböző szervezetek populáció dinamikájáról, azok válasz reakcióiról és sorolhatnánk még tovább.

Habár az egyes, a terület felmérésére szolgáló technikák (szoftverek, precíziós permetezés, monitoring rendszer) ismertek, általános alkalmazásuk még nem megoldott és nem elérhető napjainkban sem. Ennek kifejlesztését tűzi ki az innovatív növényvédelmi rendszer, azonban a gyakorlatba történő bevezetését több tényező is befolyásolja. Napjaink elvárásai, melyek előtérbe helyezik a környezetvédelmi vonatkozású eljárásokat, így a csökkent mértékű peszticid felhasználást, mely egészségesebb és biztonságosabb termények, és gyümölcsök termesztését biztosítja, óriási húzó erő az európai agroszektorban. Mindezek alapján várható, hogy a jövőben valódi igény lesz az innovatív növényvédelmi rendszer gyakorlatban történő megvalósítása.

### **Irodalmi hivatkozások**

### 3.3 Italian version

#### ***Un modello per la protezione high-tech delle colture per il futuro***

##### ***Introduzione***

Nel contesto del Progetto Europeo Endure (un network of excellence), un gruppo di ricercatori olandesi, danesi, ungheresi, polacchi e italiani ha sviluppato un'idea di come potrebbe essere in futuro la protezione delle colture a livello Europeo grazie all'utilizzo di tecniche innovative basate su approcci sia tradizionali che molecolari e su tecniche di agricoltura di precisione. Il risultato è stato quello di elaborare un modello per la protezione dei raccolti high-tech per il futuro (Zijlstra et al., in corso di pubblicazione).

Le malattie delle piante, i parassiti e le erbe infestanti sono un gran problema per la produzione agricola, dove portano a una diminuzione della produttività e della qualità. Negli ultimi anni e' molto aumentata l'attenzione alla quantità di pesticidi usati per controllare questi problemi, per gli effetti nocivi che hanno sull'ambiente e sulla salute dell'uomo e degli animali. La nostra idea e' stata quella di trovare un sistema in cui le malattie, i parassiti e le erbe infestanti possono essere identificati molto prima di quanto si faccia ora in modo da rendere possibile un minor impiego di prodotti chimici. Un'identificazione precoce potrebbe anche permettere al coltivatore di fare un controllo biologico o di prendere altre misure, in modo localizzato. Inoltre, l'applicazione di pesticidi usando tecniche di irrorazione ottimali tramite l'agricoltura di precisione, o altre misure di controllo non dannose per l'ambiente può far ulteriormente risparmiare sulle quantità di pesticidi utilizzati. Partendo dal presupposto che in futuro solo piccole dosi di pesticidi saranno possibili, la sfida è stata quella di capire come si poteva raggiungere questo obiettivo nell'eventualità che non ci siano restrizioni dovute ai costi o alla quantità di ricerca necessaria per il funzionamento del sistema di protezione delle colture. Il risultato è stato di elaborare un modello per il futuro di un sistema innovativo di protezione dei raccolti. Di conseguenza, il gruppo di ricercatori ha fatto ricerche su come realizzare un sistema di questo tipo e sulle potenzialità di tale sistema e in modo particolare le domande che sono poste sono state: Quali tecniche sono già a disposizione e quali innovazioni bisogna aspettarsi? Quali ricerche sono ancora da fare?

#### ***Un modello generico per un innovativo sistema di protezione delle colture***

Per ottenere un'efficiente strategia di protezione dei raccolti, è importante monitorare le malattie, i parassiti e le erbe infestanti prima, durante e dopo il periodo di crescita. Prima del periodo di crescita, dovrebbero essere raccolti i dati sulle condizioni del campo e dell'ambiente, e i materiali per cominciare (semi, tuberi o piante) e il terreno dovrebbero avere un numero di malattie, parassiti e semi di erbe infestanti al di sotto dei livelli di guardia. Una volta cominciato il periodo di crescita si dovrebbe esaminare regolarmente e con attenzione un campo per verificare la presenza di malattie, parassiti ed erbe infestanti. Dapprincipio, questo dovrebbe essere fatto su grande scala (a livello del campo). Questo metterà in rilievo il luogo in cui è necessaria un particolare intervento. Questo punto preciso deve successivamente essere controllato in dettaglio su scala ridotta (a livello della pianta), per specificare la natura, il grado di avanzamento, di sviluppo e di gravità dell'infezione/i e/o dell'infestazione/i. Inoltre, i campi dovrebbero essere monitorati per verificare fattori ambientali usando lo stesso metodo. I dati raccolti dovrebbero essere analizzati in modo globale nel cosiddetto "strumento decisionale" che porta a un progetto di intervento per

prendere misure a diversi livelli (vedi Fig. 1 per una schematica rappresentazione di questo modello).

### ***Tecniche innovative per monitorare dati ambientali, infestanti, parassiti e malattie***

Le macchine fotografiche possono essere usate per visualizzare parassiti, funghi ed erbe infestanti. Comunque, è preferibile stare attenti ai rischi di parassiti o malattie in un raccolto prima della fase sintomatica. Questo può essere fatto ottenendo informazioni sui dati ambientali che favoriscono lo sviluppo della malattia. In alternativa, le caratteristiche delle piante possono indicare la presenza di parassiti, malattie o erbe infestanti. C'è un'ampia gamma di innovative tecnologie di immagine che possono essere usate per questi scopi di monitoraggio, in modo che la localizzazione delle misurazioni sia basata su coordinate GPS. Misurando i cambiamenti nelle caratteristiche di riflettanza (usando l'analisi spettrale), possiamo avere un'idea delle malattie della pianta, del livello di umidità nel terreno lungo tutto il campo, dei campioni territoriali di argilla e humus presenti nel campo, della presenza di residui di raccolti o di erbe infestanti, ecc. Misurando la fluorescenza delle parti verdi delle piante si può avere un'indicazione della presenza di agenti patogeni. L'uso di macchine fotografiche IR permette la misurazione della temperatura del raccolto. Tecniche molecolari per il DNA o l'RNA specifici possono identificare molto prima dell'insorgenza della malattia (prima che i sintomi siano visibili) se gli agenti nocivi, i parassiti o erbe infestanti sono presenti. Tutti gli agenti patogeni, quali virus, batteri, nematodi, funghi, insetti, ecc. possono essere tracciati nei semi, nel terreno, nell'acqua, nell'aria o qualsiasi altro ambiente usando metodi basati su PCR o di sequenziamento. Anche i semi o le giovani piante di erbe infestanti possono essere trovate in questo modo nel terreno. La scoperta simultanea di organismi multipli è possibile, come anche la quantificazione o la discriminazione tra gli organismi vivi e morti. Tecniche sierologiche, come i metodi basati su ELISA, possono individuare proteine specifiche di virus o batteri. Queste tecniche permettono l'individuazione veloce di agenti patogeni in numerosi ambienti. I parassiti e le malattie possono anche essere individuati indirettamente con la misurazione di sostanze volatili. Queste possono essere prodotte da una pianta attaccata da un agente patogeno e possono di conseguenza essere misurate dai cosiddetti 'nasi elettronici' (Gardner e Bartlett, 1994). Una potenziale tecnica di monitoraggio per i parassiti si basa sulla rivelazione acustica, poiché i suoni prodotti dagli insetti possono essere specifici a seconda della specie.

### ***Spiegazione delle diverse fasi del icps (vedere Figura 1)***

#### ***Fase 1. Monitoraggio prima del periodo di crescita***

Per ridurre al minimo le malattie, i parassiti e le erbe infestanti, il materiale per la semina o i semi devono essere della migliore qualità possibile. La presenza di agenti patogeni sul seme o sul materiale per la semina deve essere riconosciuta cosicché i lotti infetti possano essere scartati, per ridurre i trattamenti chimici e per evitare l'introduzione di nuove malattie. La probabilità di trovare un agente patogeno nel materiale di partenza dipende dalla dimensione del campione e dall'incidenza della infezione. Le dimensioni del campione dovrebbero essere ottimizzate per massimizzare la probabilità di individuare l'organismo.

Il terreno dovrebbe essere ispezionato per l'eventuale comparsa di malattie e parassiti prima del periodo di crescita. Una volta che le malattie e i parassiti sopra i livelli di guardia sono stati individuati nel terreno, possono essere prese le decisioni appropriate, come la scelta dei raccolti o delle varietà di piante coltivate da far crescere. Allo stesso tempo, l'identificazione di organismi benefici in agroecosistemi, come i funghi micorrizici arbuscolari (AMF), e PGPR può essere usata per individuare terreni con buona biofertilità di partenza. Prima del periodo di crescita, il terreno potrebbe anche essere controllato per l'eventuale comparsa di erbe infestanti. Anche le erbe infestanti perenni possono essere monitorate nel terreno.



Comunque, un monitoraggio molto preciso può essere fatto molto più facilmente al tempo del raccolto o nella stoppia, come descritto in seguito.

### ***Fase 2. Interpretazione dei dati che porta all'avviso di controllo preventivo***

Tutti i dati raccolti saranno immagazzinati nello Strumento Decisionale. I dati saranno tradotti in un progetto di consulenza/intervento. Al momento, i sistemi di supporto decisionale per i raccolti non hanno l'attrezzatura/e per avvisare su come prevenire o ridurre gli attacchi di erbe infestanti, parassiti e malattie prima dell'avvio del raccolto. I sistemi si basano sul supporto decisionale quando la reale comparsa di erbe infestanti, parassiti o malattie nel raccolto è stata rilevata a un certo stadio della crescita. In ogni modo, alcuni sistemi tengono in considerazione la storia del campo quando danno una consulenza e hanno la capacità di incorporare tali moduli preventivi, qualora i sistemi vengano ulteriormente sviluppati.

### ***Fase 3. Interventi per la prevenzione della comparsa di malattie, parassiti, ed erbe infestanti prima del periodo di crescita secondo le consulenze dello Strumento Decisionale***

Esempi di interventi che possono essere fatti. Seminare nella data consigliata (consulenza data secondo il rilevamento, per esempio, dell'umidità del suolo); stimolare gli agenti nocivi e benefici nel terreno (consulenza data secondo la biodiversità misurata nel terreno); selezionare la varietà di pianta coltivata ottimale, cioè resistente (consulenza data in base alle specie rilevate e/o gli agenti patogeni o le malattie nel terreno o nei residui vegetali); applicare strategie di controllo per le erbe infestanti (esempi: fare l'aratura (per ridurre al minimo i residui dei raccolti precedenti sulla superficie del terreno); dissodare (mescolare residui pacciamati nella terra per la decomposizione; fare la semina tardi; applicare erbicidi usando irrorazioni di precisione). La consulenza basata sulla distribuzione spaziale misurata dei restanti residui di erbe infestanti; il trattamento dei semi, preferibilmente con agenti di controllo biologici.

### ***Fase 4. Monitoraggio su macro scala***

Durante il periodo di crescita un continuo monitoraggio dovrebbe essere fatto a livello di macro scala. L'aria potrebbe essere controllata per rilevare la presenza di propaguli patogeni dell'aria, si potrebbe verificare la presenza di erbe infestanti nel campo e la presenza di parassiti, malattie o indicatori di malattie, nel raccolto stesso. Per fare questo in modo efficace, il sistema di raccolta dovrebbe essere monitorato con tecniche che possano indicare a livello di macro scala che "qualcosa non va" da qualche parte nel campo. Queste zone identificate nel campo dovrebbero poi essere analizzate a livello di micro scala, per identificare la natura, la localizzazione e la gravità della malattia o dei parassiti.

Tipiche tecniche di monitoraggio su macro scala sono quelle che possono rilevare la tensione nelle piante (Chaerle et al., 2006; Jalink et al, 2004), o che possono misurare specifiche sostanze volatili (Pavlou et al, 20002; Jansen et al, 2009).

### ***Fase 5. L'interpretazione dei dati***

I dati circa gli storici delle mappe delle erbe infestanti saranno valutati dallo strumento decisionale. Saranno indicati i punti che richiedono un'attenzione speciale, e potranno essere controllati ancora, secondo monitoraggi per erbe infestanti su microscala. Gli altri dati raccolti per la presenza di malattie, parassiti, ed erbe infestanti saranno anch'essi valutati,

per essere combinati con noti valori e fattori di soglia che influenzano altri valori e fattori, che risulteranno in un'allerta per una specifica zona.

Se non si trovano anomalie nel campo, si continuerà il monitoraggio su ampia scala. Nel caso in cui lo strumento decisionale abbia trovato luoghi di interesse (con trattamenti per malattie, parassiti o erbe infestanti), i punti trovati saranno ispezionati più intensivamente da un monitoraggio su micro scala.

### **Fase 6. Monitoraggio su micro scala**

In molti casi, il tipico portatore di una malattia può essere identificato da un esame visivo dei sintomi; comunque, in alcuni casi questo potrebbe non essere possibile. Il tessuto campione può essere testato usando vari modi, i più usati sono ELISA o PCR, per identificare l'agente che causa la malattia. Una gamma di test ELISA per singoli agenti patogeni sono disponibili a livello commerciale. Tecniche di rilevamento PCR sono state sviluppate per numerosi agenti patogeni, incluse le malattie causate da funghi, batteri e virus, negli ultimi due decenni (per una rassegna vedi Ward et al., 2004; Schaad et al., 2003). I diversi metodi per l'identificazione di agenti patogeni delle piante (anche se spesso basati su simili tecnologie) possono essere divisi in i) analisi di laboratorio che richiedono che un campione sia inviato a un laboratorio centrale per il test oppure ii) analisi sul campo, che possono essere portate a termine direttamente sul campo dal coltivatore o dal consulente. La diretta identificazione sul campo richiede kit specifici per le analisi che sono stati progettati per essere veloci, robusti e facili da usare. Per una serie di agenti patogeni sono stati sviluppati degli strumenti basati su anticorpi, che possono dare risposte in pochi minuti (<http://www.pocketdiagnostic.com>). Gli strumenti sono stati sviluppati per una serie di virus e batteri, ma solo per poche malattie dovute a funghi. PCR portatili, sono state per esempio sviluppate (<http://www.cepheid.com>), per *Phytophthora ramorum* (Tomlinson et al., 2005). Comunque, il sistema potrebbe anche essere facilmente realizzato per altri agenti patogeni. Strumenti tipo Lab-on-a-chip sono sistemi che combinano il campionamento, l'estrazione di DNA, l'amplificazione e il rilevamento in tempo reale in un unico sistema monouso. Lo sviluppo di tali strumenti per il test point of care detection su agenti patogeni è un'area che si sta rapidamente sviluppando (Mairhofer et al., 2009),

ma non è ancora stata messa in atto per gli agenti patogeni delle piante. Se tali strumenti potessero essere sviluppati in sistemi robusti, accessibili, ed economicamente vantaggiosi, avrebbero anche potenziali applicazioni nell'agricoltura, specialmente quando possono essere combinati con interventi immediati di irrorazione sul luogo del rilevamento. Alcuni insetti e acari vengono trovati in tutto il campo mentre altri sono trovati solo in specifici punti del campo. Quando è stato rilevato un punto, l'identificazione su micro scala può essere fatta tramite le caratteristiche morfologiche o, in casi più difficili, tramite tecniche molecolari come quelle descritte per le malattie.

La densità di erbe infestanti e la composizione delle specie è generalmente eterogenea nei campi e le erbe infestanti ricoprono spesso circa l'1%, o anche meno, quando si fanno dei controlli. Quindi il rilevamento su micro scala e il controllo di singole erbe infestanti rappresentano concettualmente i controlli finali specifici sul posto, e offrono la possibilità di ridurre l'introduzione di erbicidi fogliari fino al 90%, e in teoria anche di più.

### **Fase 7. Interpretazione dei dati**

Un elemento di cruciale importanza del sistema di protezione del raccolto è lo strumento decisionale. Questo strumento decisionale contiene un sistema di supporto decisionale per la protezione del raccolto. Prima e durante il periodo di raccolta, i dati raccolti (localizzazioni e numero delle malattie, parassiti ed erbe infestanti, dati storici sulla gestione del raccolto di un campo) saranno introdotti nello strumento decisionale. Lo strumento analizza tutti i dati rilevanti in modo che possa essere fatta una consulenza su come gestire il campo nel modo

più efficiente ed ecocompatibile per prevenire i danni al raccolto che possono essere causati dai parassiti, dalle malattie e dalle erbe infestanti. Per poterlo fare, è necessario che lo strumento contenga anche le informazioni concernenti soglie di danno, relazioni tra somministrazione e risposta, biologia, ecologia, dinamiche di popolazione ecc. L'uso di una specifica varietà di pianta da coltivare o di un trattamento dei semi con agenti di controllo (biologici) è un esempio degli interventi che possono essere consigliati prima del periodo di crescita. Le consulenze date durante il periodo di crescita riguardano la scelta di fare l'irrorazione oppure no. Quando si consiglia di fare l'irrorazione, si raccomanda che i prodotti per la protezione delle piante siano applicati nel modo più mirato possibile usando una tecnologia applicativa moderna e di precisione. La consulenza, per esempio su come adattare la quantità di spruzzi, sarà basata su informazioni di immissione derivanti dai dati di topogrammi precedenti o da sensori, in tempo reale (Zande et al., 2008). La natura e la quantità delle applicazioni è definita per mezzo di un algoritmo, cioè una curva sugli effetti di somministrazione per una specifica malattia, parassita o erba infestante. Tali algoritmi dovrebbero essere specificamente ottimizzati o perfezionati per ogni combinazione di malattia, parassita, erba infestante o pesticida. Con l'aiuto della mappa di irrorazione e della posizione, l'irroratore sarà controllato secondo gli interventi consigliati, che potrebbero riguardare, per esempio, se fare l'irrorazione o no, se irrorare con uno o più ugelli allo stesso tempo con diversi volumi di spruzzo, o se adattare il modello dell'ugello o la pressione di irrorazione per cambiare la qualità dell'irrorazione.

### ***Fase 8. Interventi per controllare le malattie, i parassiti e le erbe infestanti***

Gli interventi sono preferibilmente non chimici. Esempi di misure di controllo alternative sono il controllo biologico, l'applicazione di estratti delle piante, l'uso di feromoni, l'introduzione di organismi benefici, le misurazioni per la coltivazione, l'uso di aspiratori per risucchiare gli insetti, i trattamenti UV per uccidere i microorganismi, l'uso di feromoni per riconnettere in caso di interruzione, l'intrappolare, attirare e uccidere grandi quantità di organismi, la distruzione delle erbe infestanti con il fuoco, l'aria ad alta pressione o l'estirpazione, ecc. Una potenziale misura innovativa potrebbe essere uccidere gli insetti con un raggio laser.

Quando viene presa la decisione di irrorare, dovrebbe essere messa in pratica con molta precisione per ridurre la diffusione di prodotti agrochimici nei dintorni e ottenere una buona efficienza biologica. Si raccomanda che i prodotti per la protezione delle piante siano applicati nel modo più mirato possibile. I pesticidi possono essere applicati automaticamente, usando una quantità di spruzzi programmata e le necessarie dosi di pesticidi, in combinazione con un sistema GPS e un robot per l'irrorazione. Alcune tecniche di precisione di irrorazione sono combinate con una tecnologia visiva, per esempio per i singoli controlli di erbe infestanti. Quando l'irroratore percorre il campo, la sua posizione viene misurata usando il GPS e viene trasferita al regolatore automatico dell'irroratore. Nel regolatore automatico dell'irroratore, si confronta la posizione GPS reale con la lista di posizioni nella mappa di irrorazione e si verifica se l'intervento fatto in quel momento deve essere cambiato, oppure non si deve basare sulle informazioni della mappa di irrorazione circa la posizione o l'intervento.

### ***Conclusioni***

L'innovativo sistema di protezione del raccolto descritto in questa recensione necessita di sostanziali ricerche e sviluppi, prima di poter essere attuato. Molte delle tecniche menzionate per il monitoraggio e il rilevamento non sono ancora usate in pratica e molte richiederanno ulteriori ricerche, prima di poter essere usate. Una volta che tutte le tecniche necessarie per la raccolta e l'interpretazione dei dati siano disponibili e possano essere applicate, si potrà fornire la consulenza per appropriati controlli. Questo richiede anche la conoscenza di soglie

di danno, relazioni tra somministrazione e risposta, biologia, ecologia, dinamiche di popolazione, ecc. Comunque, le singole tecniche per il sistema descritto, come le tecniche di monitoraggio, i software e le tecniche di precisione di irrorazione, sono generalmente disponibili ma devono ancora essere migliorate, prima di poter essere collegate in un unico innovativo sistema di protezione del campo. Ovviamente, il sistema non sarà messo a punto nell'immediato futuro, ma vuol essere un'ispirazione per risolvere le prossime sfide nell'agricoltura, qualora l'uso di pesticidi venga ulteriormente ridotto. Se il modello per la protezione dei campi descritto sarà realizzato in futuro dipende da diversi fattori, come il contesto in cui l'agricoltore si troverà a operare, cioè lo sviluppo dei mercati, la preoccupazione pubblica circa l'uso di pesticidi e le politiche adottate in generale. L'applicazione di tale sistema potrebbe portare a un minore rischio ambientale, al ridotto uso di prodotti per la protezione del campo, a prodotti più sani e sicuri che non contengano residui chimici e - insieme a queste caratteristiche - a una posizione più forte e competitiva per il settore agricolo europeo.

## 3.4 Dutch version

### ***Een visie op high-tech gewasbescherming in de toekomst***

#### ***Inleiding***

In het kader van het Endure netwerk of excellence heeft een groep onderzoekers uit Nederland, Denemarken, Hongarije, Polen en Italië een visie ontwikkeld over hoe de Europese gewasbescherming er uit zou kunnen zien wanneer daarvoor innovatieve technieken voor monitoren en precisiespuiten zouden worden toegepast. Het resultaat was een model voor hoogtechnologische gewasbescherming voor de toekomst (Zijlstra et al., in press).

Plantenziekten, plagen en onkruiden vormen grote problemen bij de teelt van gewassen aangezien ze zorgen voor verlies in opbrengst en kwaliteit van de landbouwproducten. De aandacht voor de gewasbeschermingsmiddelen die gebruikt worden om deze problemen het hoofd te bieden, is toegenomen omdat ze ongunstige uitwerkingen kunnen hebben op de omgeving en de gezondheid van de mens. Een systeem waarbij ziekten, plagen en onkruiden in een veel eerder stadium kunnen worden gedetecteerd dan nu het geval is, zou het mogelijk kunnen maken de hoeveelheid benodigde chemische middelen terug te dringen. Vroegere detectie zou het de teler ook mogelijk maken biologische middelen of andere plaatselijke maatregelen effectief in te zetten. Bovendien kan de toediening van chemische middelen middels optimale spuittechnieken en het toepassen van alternatieve milieuvriendelijke maatregelen bijdragen aan de besparing van het chemische middelen gebruik.

Vooropgesteld dat in de toekomst slechts minimale hoeveelheden chemische middelen mogen worden toegepast, was de uitdaging te onderzoeken hoe dit verwezenlijkt kon worden, waarbij de onderzoekers zich niet lieten beperken door de kosten of de hoeveelheid onderzoek die nodig zouden zijn voor de uitvoering van het benodigde nog te ontwikkelen gewasbeschermingsysteem. Het resultaat was een model voor een innovatief gewasbeschermingsysteem voor de toekomst.

Vervolgens heeft de groep onderzocht wat er voor nodig is om een dergelijk systeem te implementeren en wat de potentie van een dergelijk systeem is. Welke technieken zijn al aanwezig en welke innovaties kunnen nog verwacht worden? Wat voor type onderzoek is nog nodig?

#### **Een generiek model voor een innovatief gewasbeschermingsysteem**

Voor een efficiënte strategie voor gewasbescherming is het nodig om ziekten, plagen en onkruiden te monitoren, zowel voor, tijdens als na de teelt. Voor de teelt dienen gegevens over het veld en de omgeving verzameld te worden, terwijl men zich ervan moet verzekeren dat het uitgangsmateriaal (zaad, pootgoed of plantgoed) en de bodem geen hoeveelheden ziekte- en plaagorganismen en onkruidzaden bevatten die boven de drempelwaarden uitkomen. Tijdens de teelt moet men herhaaldelijk het veld scannen op aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden. Eerst moet dit gedaan worden op macro-schaal (veldniveau). Dat zal de locatie aangeven die speciale aandacht nodig heeft. Deze geïdentificeerde plek kan vervolgens in detail op microschaal (op plant-nivo) worden geanalyseerd om de aard, het stadium, de ontwikkeling en de ernst van de infectie(s) en/of besmettingen vast te stellen. Tevens dienen van het veld volgens dezelfde benadering de omgevingsfactoren te worden vastgesteld. Verkregen data dienen te worden geanalyseerd op een holistische manier door een zogenaamde “adviesmachine” wat zal resulteren in een plan van aanpak met betrekking

tot te nemen maatregelen op de verschillende niveaus (zie figuur 1 voor een schematische weergave van dit model).

### ***Innovatieve technieken voor het monitoren van omgevingsfactoren, onkruiden, ziekten en plagen***

Camera's kunnen worden gebruikt om plagen, schimmels en onkruiden te visualiseren. Echter, het is wenselijk geattendeerd te worden op risico's van ziekten en plagen in een gewas voordat er symptomen te zien zijn. Dit kan bijvoorbeeld door informatie te krijgen over omgevingsfactoren die ziekten en plagen bevorderen. Ook kunnen bepaalde kenmerken van planten een aanwijzing geven voor de aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden. Er is een enorme bandbreedte aan innovatieve visuele waarnemingstechnieken beschikbaar die gebruikt kan worden voor deze waarnemingsdoeleinden. Soms zijn ze gecombineerd met microsensoren of satellieten waarbij de locatie van de waarneming in GPS-coördinaten vastgelegd kan worden. Door veranderingen in reflectie kenmerken te meten (via spectraal analyse) kan inzicht verkregen worden met betrekking tot ziekten in de plant, de mate van vochtigheid in de bodem verdeeld over het veld, ruimtelijke patronen van klei en humus in het veld, aanwezigheid van gewas- en onkruidresten, etc. Door fluorescentie in groene plantedelen te meten kan plantenstress worden gedetecteerd wat een indicatie voor de aanwezigheid van ziekteverwekkers kan zijn. Het gebruik van infra rood camera's maakt het mogelijk de gewastemperatuur te meten. Moleculaire technieken die DNA of RNA kunnen meten dat specifiek is voor schadelijke ziekteverwekkers, plaagorganismen of onkruiden, kunnen deze aantonen lang voordat symptomen zichtbaar zijn. PCR-methodes of andere op sequenties gebaseerde technieken maken het mogelijk dat alle ontwikkelingsstadia van virussen, bacteriën, nematoden, schimmels, insecten, etc. kunnen worden gedetecteerd in plant materiaal, zaad, grond, water, lucht of elke andere omgeving. Onkruidzaden en kleine onkruiden kunnen op deze manier ook gedetecteerd worden in grond. Simultane detectie van verschillende organismen is mogelijk, evenals kwantificering of differentiatie tussen levende en dode organismen.

Serologische technieken, zoals op ELISA gebaseerde methoden, kunnen specifieke eiwitten van virussen en bacteriën detecteren. Deze technieken maken een snelle detectie van pathogenen mogelijk in talrijke omgevingen.

Ziekten en plagen kunnen ook indirect worden gedetecteerd door het meten van vluchtige stoffen. Deze worden geproduceerd door een plant nadat deze is aangevallen door een pathogeen of plaagorganisme en kunnen vervolgens worden gemeten door zogenaamde "elektronische neuzen" (Gardner en Bartlett, 1994). Feromoonvallen maken detectie van plagen mogelijk.

Een potentiële monitoringstechniek voor plagen is gebaseerd op akoestische detectie, aangezien de door insecten geproduceerde geluiden specifiek kunnen zijn.

### ***Toelichting op de verschillende stappen van het model voor hoogtechnologische gewasbescherming voor de toekomst (zie Figuur 1)***

#### ***Stap 1. Monitoring voor de teeltperiode***

Om het optreden van ziekten, plagen en onkruiden te verkleinen, dient het uitgangsmateriaal van topkwaliteit te zijn. Aanwezigheid van pathogene op zaad of uitgangsmateriaal moet getest worden zodat besmette lots kunnen worden verwijderd, zodat chemische behandeling kan worden teruggedrongen en om introductie van nieuwe ziekten te voorkomen. De kans dat een pathogeen gedetecteerd kan worden in uitgangsmateriaal hangt af van de monstergrootte en de kans op infectie. De monstergroottes dienen te worden geoptimaliseerd om de kans op detectie van een ongewenst organisme te vergroten.



De grond moet ook getest worden op aanwezigheid van ziekten en plagen voor dat met telen begonnen wordt. Wanneer ziekten en plagen boven de drempelwaarde zijn aangetoond in de grond, kunnen geschikte besluiten worden genomen, zoals de keuze van een te telen gewas of cultivar. Tegelijkertijd kunnen ziekteverwekkende organismen, zoals arbuscular mycorrhiza schimmels, fluorescente Pseudomonaden en andere die deelnemen aan de bio-geochemische cyclus, worden toegevoegd aan het teeltsysteem om een grond te krijgen met een goede uitgangssituatie met betrekking tot bodemvruchtbaarheid.

Voor en tijdens de teelt dient de grond te worden gechecked voor het optreden van onkruiden. Van eenjarige onkruidpopulaties kan de soortensamenstelling en soortdichtheid tot op zeker mate worden voorspeld uit de samenstelling van de zaadbank (Dessaint et al., 1997; Rahman et al., 2006). Meerjarige onkruiden kunnen ook worden gemonitord in de grond. Echter, een nauwkeurige monitoring kan veel gemakkelijker worden uitgevoerd tijdens de oogstperiode of in gewasresten.

### ***Stap 2. Data-interpretatie resulterend in advies voor preventie***

Alle verzamelde data worden opgeslagen in de adviesmachine. De data zullen worden vertaald in advies. Momenteel hebben de bestaande beslissingsondersteunende systemen niet de mogelijkheden om al voor de teelt advies te geven hoe je aantastingen van ziekten, plagen en onkruiden kunt voorkomen of verkleinen. Huidige systemen zijn gebaseerd op ondersteuning bij beslissingen wanneer het optreden van ziekten, plagen en onkruiden is waargenomen tijdens een bepaald groeistadium. Echter, sommige systemen houden wel rekening met de geschiedenis van het veld wanneer ze advies geven en ze hebben de mogelijkheid om dergelijke preventieve modules te incorporeren bij de verdere ontwikkeling van systemen.

### ***Stap 3. Acties ter preventie van het optreden van ziekten, plagen en onkruiden voor de teelt, gebaseerd op advies van de adviesmachine***

Voorbeelden van acties die genomen kunnen worden: zaai op de geadviseerde zaaidatum (advies gebaseerd op waarnemingen van grondvochtigheid); bevorder de aanwezigheid van antagonisten en ziekteverwekkende organismen in de bodem (advies gebaseerd op de gemeten biodiversiteit van de bodem); selecteer de optimale (resistente) cultivar (advies gebaseerd op de gedetecteerde soorten of pathotypen van ziekten in de bodem of gewasresten); dien onkruidbestrijdingmaatregelen toe (voorbeelden: ploegen (om aanwezigheid van gewasresten op de oppervlakte te beperken); bewerk grond (vermeng mulch in de grond voor decompositie; zaai laat; dien herbiciden toe gebruikmakend van precisiespuittechnieken). Advies gebaseerd op gemeten ruimtelijke verdeling van gewasresten; behandel zaad, bij voorkeur met biologische gewasbeschermingsmiddelen.

### ***Stap 4. Monitoring op macro-schaal***

Tijdens de teelt dient een voortdurende monitoring plaats te vinden op macro-schaal nivo. Lucht kan worden gemonitord op de aanwezigheid van luchtgebonden ziekteverwekkende deeltjes, het veld kan worden gemonitord op onkruiden, en het gewas zelf op de aanwezigheid van ziekten, plagen of ziekte-indicatoren zoals stress. Om dit op een efficiënte manier te doen moet het teeltsysteem gemonitord moeten worden met technieken die op macro schaal nivo kunnen aangeven dat "iets mis" is ergens in het veld. Vervolgens dienen deze geïdentificeerde plekken in het veld nader geanalyseerd te worden op micro-schaal nivo, om de aard de locatie en de ernst van de ziekte of plaag vast te stellen. Typische macro-schaal monitoringstechnieken zijn technieken die stress in planten kunnen meten

(Chaerle et al., 2006; Jalink et al., 2004) of die specifieke vluchtige stoffen kunnen meten (Pavlou et al., 2002; Jansen et al., 2009).

### **Stap 5. Interpretatie van data**

Data van historische onkruidkaarten worden geëvalueerd door de adviesmachine. Pekken die speciale aandacht nodig hebben zullen worden aangegeven en kunnen nader worden onderzocht via micro-schaal monitoring voor onkruiden. Andere verzamelde data over aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden zullen ook worden geëvalueerd en worden gecombineerd met bekende drempelwaarden en factoren die deze beïnvloeden, wat zal resulteren in een attendering voor een bepaalde plek.

Indien geen merkwaardigheden worden gelokaliseerd in het veld dan zal worden doorgegaan met macro schaal monitoring. Wanneer de adviesmachine verdachte plekken heeft geïdentificeerd (met kans op ziekten, plagen of onkruiden), dan zal de betreffende plek intensiever worden bestudeerd via micro schaal monitoring.

### **Stap 6. Micro schaal monitoring**

In veel gevallen kan de ziekteveroorzaker worden geïdentificeerd door een visuele beoordeling van de symptomen als die aanwezig zijn; echter, in sommige gevallen is dit niet mogelijk. Het bemonsterde materiaal kan dan worden getest volgens een scala aan methoden. De meest gebruikte om de ziekteverwekker te identificeren zijn ELISA of PCR. Verschillende op ELISA gebaseerde testen voor detectie van een ziekteverwekker zijn commercieel verkrijgbaar. Op PCR gebaseerde technieken zijn ontwikkeld voor talloze ziekteverwekkers, waaronder schimmels, bacteriën en virussen (zie voor reviews Ward et al., 2004; Schaad et al., 2003). De verschillende benaderingen voor de identificatie van plantpathogenen kunnen worden onderscheiden in i) laboratorium testen, waarvoor het nodig is dat monsters van het veld naar het lab worden gestuurd, of ii) veldtesten, die direct in het veld door de teler of de adviseur kunnen worden uitgevoerd. Voor directe identificatie in het veld zijn gespecialiseerde test kits nodig die zo ontworpen zijn dat ze snel resultaat leveren, robuust zijn, evenals gemakkelijk in het gebruik. Lateral flow testen die gebruik maken van antilichamen, zijn ontwikkeld voor een aantal pathogenen en kunnen in een paar minuten een uitslag geven (<http://www.pocketdiagnostic.com>). Deze testapparaten zijn ontwikkeld voor de detectie van een aantal virussen en bacteriën maar voor slechts weinig schimmels. Het robuuste draagbare PCR apparaat Cepheid SmartCycler II (<http://www.cepheid.com>), maakt "draagbare PCR" mogelijk, wat voor het eerst is aangetoond voor *Phytophthora ramorum* (Tomlinson et al., 2005). Het systeem kon echter ook eenvoudig worden geïmplementeerd voor andere pathogenen. Lab-op-een-chip apparaten zijn geminiaturiseerde micro-fluidic systemen die bemonstering, DNA-extractie, amplificatie en real-time detectie in een wegwerpsysteem combineren. De ontwikkeling van zulke apparaten is een snel ontwikkelend gebied (Maihofer et al., 2009). Voor detectie van plantpathogenen worden dergelijke apparaten nog niet in de praktijk gebruikt. Wanneer ze zodanig konden worden ontwikkeld dat ze robuust, gebruiksvriendelijk en goedkoop zouden zijn, zouden ze ook potentie hebben voor toepassing in de landbouw. Vooral als ze zouden kunnen worden gecombineerd met directe spuitacties op de geïdentificeerde plek.

Sommige insecten en mijten kunnen over het gehele veld voorkomen terwijl andere zich plaatselijk in het veld ophouden. Wanneer een hot-spot gevonden is, kan micro-schaal identificatie plaatsvinden gebruikmakend van morfologische kenmerken, of van moleculaire technieken zoals beschreven voor ziekten.

Dichtheden en samenstelling van onkruiden in het veld zijn doorgaans heterogeen. Micro-schaal detectie van onkruiden gaat vaak gepaard met bestrijding van individuele planten. Dit biedt de mogelijkheid om het gebruik van blad herbiciden tot 90% en theoretisch meer te verminderen.



### **Stap 7. Interpretatie van data resulterend in advies**

Een cruciaal onderdeel van het gepresenteerde gewasbeschermingsstelsel is de adviesmachine. Deze adviesmachine bevat een beslissingsondersteunend systeem voor gewasbescherming. Voor en tijdens de teelt worden de verzamelde data (locaties en hoeveelheden van ziekteverwekkers, plaagorganismen en onkruiden, omgevingsfactoren, historische gewasmanagement data van het veld) ingevoerd in de adviesmachine. De adviesmachine analyseert alle relevante data op zo'n manier dat geadviseerd kan worden welke maatregelen genomen dienen te worden om zo efficiënt en milieuvriendelijk mogelijk gewasschade te voorkomen die veroorzaakt zou kunnen worden door ziekten, plagen en onkruiden. Hiervoor is het nodig dat de adviesmachine ook informatie bevat over schadedrempels, dosisresponsrelaties, biologie, ecologie, populatiedynamica, enz. Het gebruik van een specifieke cultivar of zaadbehandeling met (biologische) gewasbeschermingsmiddelen zouden adviezen kunnen zijn van de adviesmachine voor de teeltperiode. Aanbevelingen tijdens de teelt kunnen zijn spuiten of niet spuiten. Wanneer geadviseerd wordt om te spuiten is het het beste als gewasbeschermingsmiddelen zo doelgericht mogelijk worden toegediend gebruikmakend van moderne precisiespuittechnologie. Advies, zoals het aanpassen van het spuitvolume, zal gebaseerd zijn op verkregen informatie van eerdere scouting of real-time sensoren data (Zande et al., 2008). De hoeveelheid en de aard van de toediening wordt vastgesteld door middel van een algoritme, een dosiseffectcurve voor een specifieke ziekte, plaag of een bepaald onkruid. Deze algoritmen moeten voor iedere ziekte, plaag, onkruid en pesticide combinatie worden ontwikkeld en/of geoptimaliseerd. Op aanwijzing van de spray-map en afhankelijk van de positie van de spuitmachine zal deze spuitmachine worden aangestuurd volgens aanbevolen acties die kunnen betreffen: spuiten of niet spuiten, spuiten met een of meerdere spuitkoppen tegelijkertijd waarbij verschillende spuitvolumina worden toegediend, of om het soort spuitkop of de spuitdruk aan te passen om de kwaliteit van de spuitbehandeling te veranderen.

### **Stap 8. Acties om ziekten, plagen en onkruiden te beheersen**

Niet chemische maatregelen hebben de voorkeur. Voorbeelden van alternatieve bestrijdingsmaatregelen zijn biologische bestrijding, toediening van plantenextracten, het gebruik van feromonen, toediening van ziekteverwekkende organismen, teeltmaatregelen, het gebruik van stofzuigertjes om insecten mee op te zuigen, UV behandeling om micro-organismen te doden vernietiging van onkruiden door ze te verbranden, met hoge luchtdruk te bewerken, etc. Een innovatieve maatregel die wellicht potentie heeft is het doden van insecten met laserstralen.

Wanneer besloten wordt om te spuiten, dan moet dat doelgericht worden gedaan met grote precisie om de verspreiding van de middelen naar de omgeving te beperken terwijl wel een goede biologische effectiviteit moet worden behaald. Pesticiden kunnen automatisch worden toegediend gebruikmakend van geprogrammeerde spuitvolumes en vereiste doses van pesticiden in combinatie met een GPS systeem en een spuitrobot. Sommige precisiespuittechnieken worden gecombineerd met camera's, bijvoorbeeld voor individuele onkruidplanten bestrijding. Wanneer de spuitmachine door het veld gaat wordt zijn positie gemeten via GPS en doorgegeven aan de spuitaanstuurder. In de spuitaanstuurder wordt de actuele GPS positie vergeleken met de lijst van posities in de spray map en wordt gecheckt of de op dat moment uitgevoerde actie moet worden veranderd of niet op grond van de positie-actie informatie in de spray map.

Het innovatieve gewasbeschermingsysteem dat hier beschreven is vereist nog aanzienlijk veel onderzoek en ontwikkeling voor het geïmplementeerd kan worden. Veel van de genoemde technieken voor monitoring en detectie worden nog niet in de praktijk gebruikt en sommige hebben nog aanvullend onderzoek nodig voor ze kunnen worden geïmplementeerd. Pas wanneer alle technieken die nodig zijn voor data collectie en interpretatie beschikbaar zijn en toegepast kunnen worden, dan kan advies gegeven worden om op de juiste manier in te grijpen. Dit vereist ook kennis over schadedrempels, dosisrespons relaties, biologie, ecologie, populatiedynamica, etc. Echter, de individuele bouwstenen voor het beschreven systeem, zoals monitoring technieken, software en precisiespuittechnieken zijn beschikbaar maar moeten nog worden verbeterd voor ze kunnen worden samengebracht in een innovatief gewasbeschermingsysteem. Vanzelfsprekend zal dit systeem niet in de nabije toekomst worden geïmplementeerd maar is het bedoeld als inspiratie om de te verwachte uitdagingen het hoofd te kunnen bieden in de toekomst wanneer het gebruik van pesticiden nog meer beperkt zal worden. O het beschreven model voor gewasbescherming zal worden ingevoerd in de toekomst hangt af van verschillende factoren, zoals de context waarin de teler gaat opereren, de marktontwikkeling, maatschappelijke betrokkenheid met betrekking tot chemicaliëngebruik en het beleid in algemene zin. De toepassing van een dergelijk systeem zou leiden tot kleinere milieubelasting, minder gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, gezondere en veiligere producten zonder chemische residuen en – verbandhoudend met deze eigenschappen- een sterkere concurrentiepositie voor de Europese agrosector.